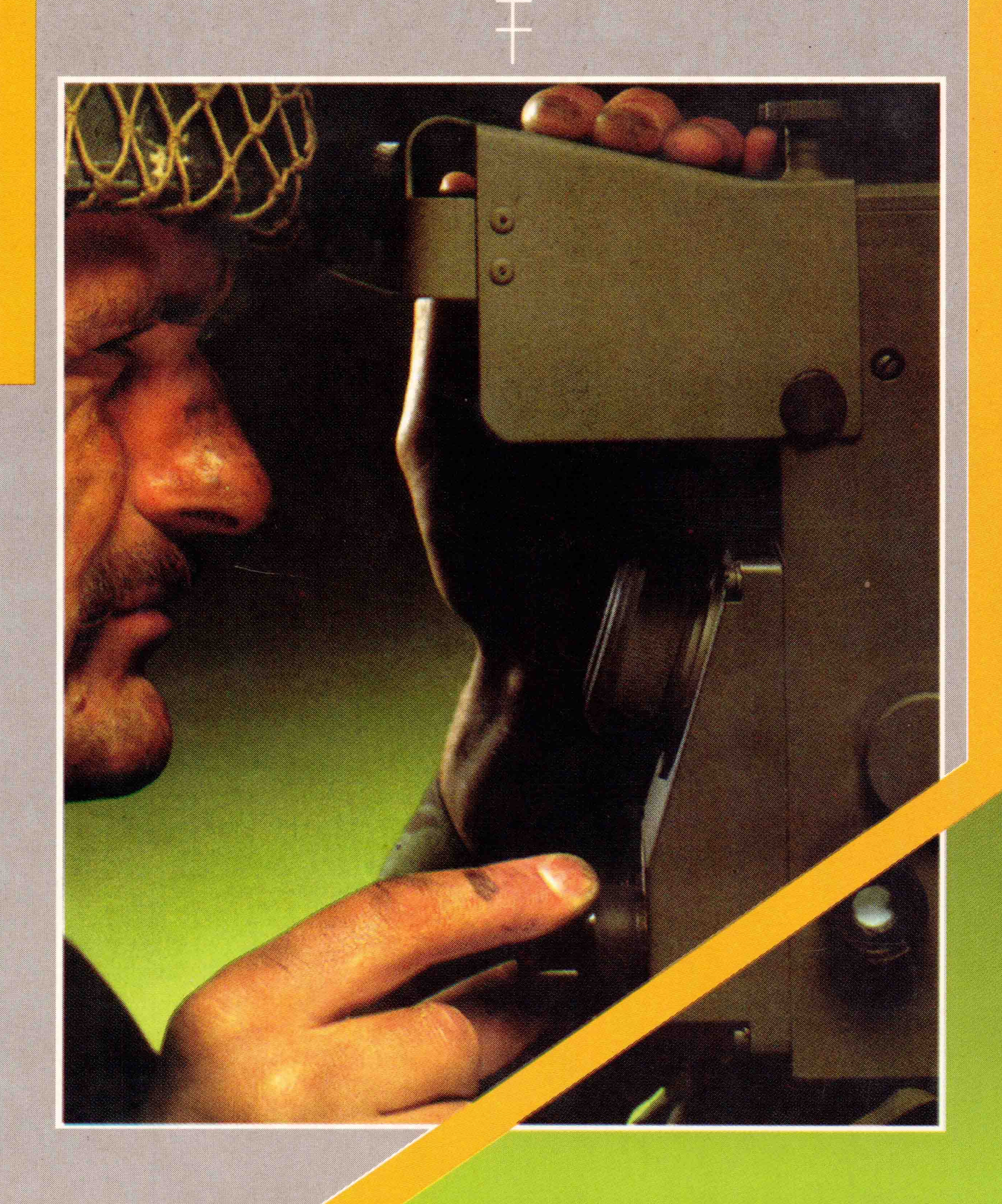
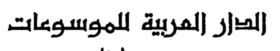
منظومات مراقبة وتحصيل

الأهداف العسكرية



الدار العربية للموسوعات





بيروت ـ لبنان



• الحمراء شارع اللبان ـ بناية د. فؤاد طرزي ـ الطابق الثاني

• ص.ب. : ١٧/٥٣٤٨ ـ فاكس ٣٥١٣٣٩

• هاتف : ٨٦٧٢٢٧ ـ ٨٦٧٢٢٨ ـ تلكس ٢٣١٠٧ ـ برقياً ديركتناد

منظومات
مراقبة وتحصيل الأهداف العسكرية

تأليف

A.L. RODGERS
I.B.R. FOWLER
T.K. GARLAND_COLLINS
J.A. GOULD
D.A. JAMES
W. ROPER

ترجمة

المهندس علي جواد حسين العبيدي

الدار العربية للموسوعات

الطبعة الاولى
١٩٩٤

«الفصل الأول»

مدخل

١ - مقدمة :

لقد أضحت كلمة المراقبة مألوفة لكل شخص . وقد برز موضوع الاستطلاع خلال فضيحة « ووترغيت » عند كشف محاولة المراقبة الالكترونية . ويقدَّر اهتمام الجيش بهذا الموضوع لأنه يتطلب معلومات مبكرة حول ترتيبات العدو وحشوده ، بحيث يتم تثبيت القوات في أحسن حال لمقاومة التهديد . وفي محيط الحرب الشاملة، فإن رد الفعل يجب أن يحدث مبكراً كلما أمكن ذلك لبدء عملية الاستنزاف عند أقصىٰ مدىٰ . ولذلك تبرز الحاجة إلىٰ قابلية مراقبة شاملة لتحصيل الهدف ومشاغلة الأهداف .

والتعريف القاموسي لمصطلح المراقبة هو « الإشراف ، الرصد القريب » . والتعريف الذي سيستخدم في هذا الكتاب هو « المراقبة المنتظمة والمستمرة ليلاً ونهاراً، وفي كافة الأجواء لساحة المعركة، لتوفير المعلومات في الوقت المناسب لاستخبارات المعركة ، وهي حاجة مستمرة في كل الظروف الجوية وفي وقتها المناسب .

وسيبحث هذا الفصل، المعضلات التي تواجه توفير المنظومة الملائمة للمراقبة، وتحصيل الهدف وإيجاز التقنيات الممكن استخدامها، لتجاوز هذه المعضلات .

٢ ـ تعريفات:

هناك عدد من المصطلحات والتعاريف المتفق عليها مبينة في المسرد . ومن المهم وجود اتفاق علىٰ المصطلحات العلمية لفهم مواصفات الأداء بشكل واضح لا لبس فيه .

تعتبر استخبارات المعركة، الحاجة الأساسية للقائد في أي مستوىٰ يكون فيه . فهو يحتاج إلى معرفة عدوه ، وحالة الجو والمعالم الجغـرافية للمنـطقة لأجل تخطيط وإدارة عملياته . وهذه الحاجة الأولية مهمة لقائد الحضيرة قدر أهميتها لقائـد الفيلق . إلا أن الفرق المهم بينهمـا هو إلىٰ أي مـدىٰ تتطلب حاجات الاستطلاع التوغل في مواضع العدو . ومن الواضح أن قائد الفيلق يريد معرفة ما يجري في مواقع العدو الخلفيَّة . ويحتاج آمر الحضيرة إلىٰ معرفة ما يجري أمامه ولمسافة بضع مئات من الأمتار . وهكذا فإنـه من المهم تعريف منطقة التأثير ومنطقة النفوذ للقائد .

وقد تكون منطقة تأثير القائد أكثر صعوبة في تحديـدها عن المنـطقتين السابقتين . وتتضمن المنطقة ، المناطق المحتلة من قبل قوات العـدو والذي يمكن أن يجازف بتنفيذ المهمة . وبالتالي فإن قائد الفرقة سيكون مهتماً بانفتاح وحشد أفواج المقدمة الثانية لفرقة حلف وارسو ، وبشكل فوري في جبهته التي ستتوسع إلىٰ (١٥٠) كم وراء الحـافة الأمـامية لمنـطقة المعـركة (FEBA) . وبشكلٍ مشابه، فإن فرق المقدمة الثانية للجيش المقابل، ستكون في منطقة تأثير قائد الفيلق . ومن المحتمل أن تكون المنطقة بعمق (٢٠٠) كم .

أما مناطق النفوذ فتكون أكثر سهولة في تعريفها . وبعبارات بسيطة ، هي المناطق التي يكون للقائد فيها التأثير المباشر علىٰ سير العمليات ورمي القوة النارية . وبالنسبة لآمر الحضيرة ، فإن هذه المنطقة ستكـون بضع مئـات من الأمتار . وفيما يخص قائد الفيلق ، فإن أقصىٰ مدىٰ لمنظومة الصواريخ سطح ـ سطح العائدة له قد يزيد عن (١٠٠) كم . ويبين الجدول (١) منـاطق النفوذ والتأثير المتعلقة بالقابليات العامة للأسلحة الحالية لحلف الناتو .

جدول (١) مناطق النفوذ والتأثير المتعلقة بمنظومات الأسلحة

التشكيل	السلاح	المدىٰ (كم)	منطقة النفوذ (كم)	منطقة التأثير (كم)
جحفل معركة	دبابة المعركة الرئيسية	٢	٦	٢٠
	هاون	٦		
	الأسلحة المضادة للدروع بعيدة المدىٰ	٤		
	مدفع ذاتي الحركة ١٥٥ ملم	١٥	٢٠	٥٠
	مدفع ذاتي الحركة ١٠٥ ملم	٢٠		
	صواريخ سطح ـ سطح	١٠٠	١٠٠	١٥٠
	صواريخ سطح ـ سطح	١٠٠	١٠٠	٢٠٠

إن المديات المذكورة في الجدول (١) ليست لمنظومة سلاح محددة ، بل هي تصنيف نموذجي للمعدات المستخدمة في الجيوش الحديثة . وهذه المديات أساسية لاعتبارات المراقبة وتحصيل الهدف، لأن منظومة المراقبة المتاحة لقائد، يجب أن تغطي منطقة تأثيره . وعلىٰ نحو مشابه يجب أن يكون هناك تماثُلٌ بين مدىٰ منظومة تحصيل الهدف وبين مدىٰ السلاح ، وإنه من الحماقة صرف مبالغ كبيرة في جلب أسلحة ذات مديات طويلة بدون استثمار مدياتها الطويلة، لأن الأهداف المحتملة تكون خارج مدىٰ منظومة تحصيل الهدف .

وبعد أن عرضنا المتطلبات الأساسية للمراقبة وتحصيل الهدف ، فمن الضروري أن نبحث في مصطلحات عامة حول كيفية إتمام تحصيل الهدف . هناك أربع مراحل في عملية تحصيل الهدف :

- الكشف
- التعريف
- التمييز
- الاستمكان

أ . الكشف :

هو آكتشاف هدف محتمل . ويتحقق نتيجة التباين بين الهدف وخلفيته أو عدم الاستمرارية مع المحيط . إن رد فعل الراصد هنا هو : « يوجد شيء هناك » .

ب . التعريف :

هو تحديد نوع الهدف . ورد فعل الراصد هو : « إنها دبابة » . ويمكن التعرف على إلهدف من خلال ظهوره أو تصرفه . إن معالم التمييز التي تحدد ظهور الهدف ، تكون ذات أهمية لكل من التعريف والتمييز . فعلىٰ سبيل المثال تعطي السُرَف ، علىٰ عكس الدواليب wheels ، مؤشراً أن الجسم هو ناقلة أشخاص مدرعة (APC) ، أو مدفع أو دبابة . إن وجود أو غياب البرج والمدفع يساعد علىٰ الإقرار بالضبط علىٰ نوع العجلة . ويمكن الحصول علىٰ المساعدة في التعرُّف على الهدف من طريق تصرفه ، مثل نوع التعبية التي يتخذها وموقعه أو آتجاه حركته . وقد يتم رصد الهدف لفترة زمنية قبل ظهور الشكل المميز لتصرفه . وفي بعض الأحيان يكون هناك زمن تأخير هام ومتلازم بين الكشف والتعريف في كلتا الطريقتين . وقد بينت التجارب أن العلاقة بين مديات الكشف المرئي والتمييز هي ٦ : ١ .

جـ . التمييز :

هي مرحلة في عملية تحصيل الهدف ، حيث يتم تحقيق الهوية الصحيحة للهدف . ورد فعل الراصد هو : « إنها T62 » . وعلىٰ رغم أن معالم هذه الدبابة قد تدل علىٰ جنسيتها أو تمييزها من بين كل المعدات في صنفها ، فإن هذه المعالم ثانوية ومن السهولة إخفاؤها ـ مثل عدد دواليب الدوران في الدبابة . ومن المطلوب تدقيق الهدف قبل حدوث عملية التمييز الإيجابي .

ويمكن تسهيل معضلات التمييز باستخدام برامج مختلفة . وقد يكون هناك بعض الإشارات الصريحة : إظهار بعض معالم التعريف البسيطة مثل شارة

النداء، علامة تمييز الجنسية أو شارة التعريف الجوية . كل ذلك أمثلة علىٰ هذا الموضوع .

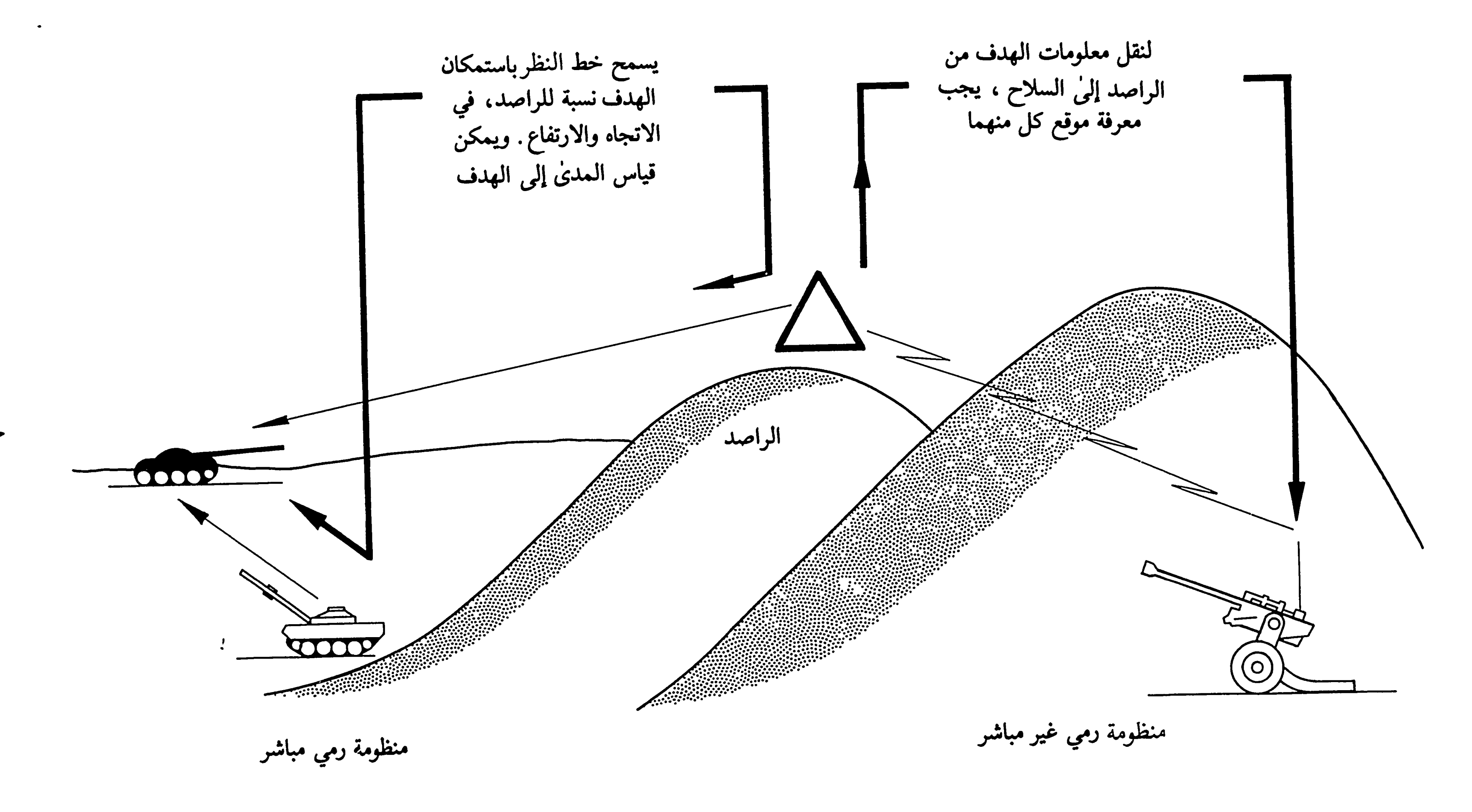
من جهة أخرىٰ ، غالباً ما تستعمل طريقة خفية للتمييز . ويعتبر الاستنطاق أو التحدي والاستجابة طريقة شائعة، والذي قد يكون مسموعاً باستخدام كلمات المرور ؛ أو مرئياً مع منظومة أنوار حقيقية مُعدة مسبقاً ، أو الكترونياً، وهي تقنية مستخدمة في عدة منظومات للدفاع الجوي . وحالما يتم كشف الهدف بواسطة الرادار ، يتم اختباره بالإشارة الرادارية المجفرة . فالطائرة الصديقة تزود بجهاز مرسل/ مستجيب الذي يعمل علىٰ تحليل جفرة التحدي والاستجابة . وتشير الجفرة المستعملة في الاستجابة إلى هوية الطائرة . ويطلق علىٰ هذه المنظومة: تمييز الصديق أو العدو (IFF) .

د . الاستمكان :

يتم استمكان الهدف عندما يُثبت موقعه مع الدقة المطلوبة من أجل إنجاح المشاغلة . وتعتبر عملية استمكان الأهداف بالنسبة لأسلحة الرمي المباشر عملية بسيطة نسبياً ، ولكنها مع أسلحة الرمي غير المباشر ، فإنها تتطلب عناية فائقة . ويوضح الشكل (١ ـ ١) هذه الإختلافات .

ففي حالة منظومات الرمي المباشر، تتم مطابقة سلاح الرمي المباشر علىٰ الهدف في زاوية الإتجاه وزاوية الارتفاع ، باستخدام منظومة تسديد . ويتم تحديد الاتجاه بشكل دقيق بواسطة المسدِّدة ؛ ويجب تحديد المدىٰ إلىٰ الهدف بحيث يمكن تطبيق الارتفاع الصحيح . وهناك عدد من التقنيات التي أُهْمِلَ أغلبها بعد إدخال مقدرة المدىٰ الليزرية . وتعتمد أغلب هذه التقنيات علىٰ تقدير المدىٰ بالبصر مع أو بدون مساعدة الخريطة . وفي حالة قياس المدىٰ بالاستاديومتر (أداة لقياس أطوال المنحنيات) فإن مقياس العينية في المسددة سيسمح بقياس مدىٰ الأهداف المعروفة الارتفاع والعرض .

ومثل هذه المنظومة لا تزال تستخدم علىٰ الدبابة T54 وعلىٰ الدبابة ليو بارد كمنظومة إسناد . كما وتستخدم الطلقات لايجاد المدىٰ والتي تتضمن



شكل (١) استمكان الأهداف

رمي الأسلحة الرئيسية ، رغم أنها بطيئة وتؤدي إلى كشف السلاح ومن غير المحتمل استخدامها في المنظومة الحديثة . ولغرض تحسين هذا يتم استخدام الرشاش لإيجاد المدىٰ . وهي منظومة استخدمت بشكل واسع علىٰ الدبابات البريطانية والمدافع المضادة للدبابات . وهناك عدد من الأنواع المختلفة لمقدار المدىٰ البصرية . ولازالت مقدرة المدىٰ المجسمة قيد الاستخدام. ولكن النوع الأبسط يفضل استخدامه في الدبابات M60 و30 × AM . والرادار كمنظومة مراقبة مهمة في حد ذاتها تتميز بدقة قياس مدىٰ الهدف . من ناحية ثانية ، فإن دخول مقدرة المدىٰ الليزرية إلى الخدمة قد ألقىٰ ظلاً علىٰ التطويرات الأخرىٰ في هذا المجال ، فهي سهلة الاستخدام وذات دقة عالية .

وفي منظومات الرمي غير المباشر تتعاظم معضلة الاستمكان بغياب خط النظر بين الهدف والسلاح . ويستطيع الراصد استمكان الهدف بالنسبة إلىٰ موقعه ، باستخدام نفس تصنيف التقنيات المستخدمة لأسلحة الرمي المباشر . ولأجل نقل هذه المعلومات إلىٰ السلاح، فمن الضروري معرفة موقعه وموقع الراصد إلىٰ الدرجة المطلوبة من الدقة . وقراءة الخريطة التقليدية ليس دقيقاً بما فيه الكفاية لمدفعية الميدان ، ولذلك تبرز الحاجة إلىٰ معدات تحديد الموقع .

وفي بعض منظومات الأسلحة الموجهة، وبعد أن يتم تحصيل الهدف ، تتم مراقبته لمواضع كل من الصاروخ والهدف بصورة مستمرة لتصحيح خط طيران الصاروخ لتحقيق الإصابة . وهناك عدة طرق لتنفيذ هذا : بصرية أو بالأشعة دون الحمراء أو بالرادار ، وفي منظومات أخرىٰ يتم جمع عدة طرق مع بعضها .

٢ ـ التقنيات المستخدمة في المراقبة وتحصيل الهدف :

أ . الحواس البشرية:

من المحتمل أن يعلن الهدف عن وجوده بسبب خصائصه الملازمة، له إما من طريقة تصميمه أو من طريقة استخدامه التعبوي . ويمكن التعرف علىٰ هذه

الخصائص من طريق حواس الإنسان الخمس: فمثلاً تكون الدبابة أكثر احتمالاً للكشف والتعريف بالنظر والسمع . فهي ذات شكل يمكن رؤيته ومن طريق التدريب والممارسة يمكن تمييزها . إن وجود وحدة توليد القدرة وتروس النقل والدوران للدبابة، تؤدي كلها إلىٰ إحداث ضوضاء تكشف عن وجودها مما يعطي فكرة عن نوع العجلة . علاوة علىٰ أن الدبابة تبعث دخان العادم الذي يمكن شمه ، إلا أن هذا تأثير قصير المدىٰ مثل تأثير اللمس والتذوق ، واللذان من غير المحتمل استخدامهما في كشف دروع العدو .

ب . الانبعاثات الصادرة عن الهدف:

لقد سعىٰ الإنسان منذ عدة قرون لتوسيع مدىٰ حواسه باستخدام التلسكوب ، والناظور والوسائل المشابهة الأخرىٰ . ولذلك ، وفقاً لهذا فقد يكون من الممكن ، باستخدام آلات مناسبة ، الكشف والتعرف على الدبابة من طريق الاهتزازات التي تنشأ في الأرض ، التي تعمل على بعثرة المجال المغناطيسي الأرضي ، والإشعاع الطبيعي الذي تطلقه (في حالة الدبابة فإن هذا الإشعاع سيكون إشعاعاً دون الحمراء) ، أو الانبعاثات من معداتها التابعة لها مثل الأجهزة اللاسلكية والأنوار الكاشفة . إن أغلب الطرق المستخدمة بشكل واسع لكشف الأهداف في الوقت الحاضر هي الطرق التي تستفيد من الإشعاع الكهرومغناطيسي ، ويمكن تقسيم هذه الطرق ثانيةً إستناداً إلى مصدر الطاقة المستخدم .

ويمكن للهدف أن يطلق مدىً واسعاً من الترددات ، كما أنه لا سبيل لتجنب بعض الإنبعاثات والتي تغير اتجاهها. لأن أي جسم عند درجة الحرارة فوق الصفر المطلق ، يبدأ بإشعاع الطاقة ، ويعرف بالإشعاع الأسود . وبالنسبة إلىٰ الأهداف العسكرية، فإن أغلب إشعاعاتها تكون دون الحمراء علىٰ الرغم من أن بعض الطاقة يُطلَقُ أيضاً في الجزء المايكروي من الطيف، والذي يمكن أن يكون ذا فائدة في كشف الطائرة . ويستخدم الإشعاع دون الحمراء في منظومات التصوير الحراري والمسح الخطي . وتطلق الإشعاعات

الكهرومغناطيسية الأخرىٰ من الهدف نتيجة لاستخدامه العمليـاتي ، ويتضمن هذا، الإنبعاثات الضوئية ودون الحمراء مثلما هو الأمر في الإرسالات الرادارية واللاسلكية .

جـ . الطاقة المنعكسة :

إن الطاقة المشعة من مصدر خارجي، قد تنعكس عن الهدف . وتظهر معظم الطاقـة المشعة من الشمس في الجـزء المرئي من الـطيف على شكل ضوء . ويمكن كشف هذا بعد حدوث الإنعكاس بواسطة الهدف من طريق كل المنظومات البصرية . وهي الطريقة التي بواسطتها نشاهد أي جسم اعتيادي . وهناك إشعاع هام في الجزء القريب من الأشعة دون الحمراء من الطيف والذي يستفاد منه في منظومات مكثفات الصورة وتلفزيون الإضاءة المنخفضة . إن أداء المنظومات البصـرية والمنـظومات القـريبة من الأشعـة دون الحمراء ، يمكن تعزيزها باستخدام الأشعة المولدة صناعياً . ويمكن إنتاج كل من طاقة الضوء والطاقة القريبة من الأشعة دون الحمراء بواسطة الأنوار الكاشفة ، والمشاعل وما شابه ذلك من أجل إضاءة الأهداف ليلاً . وبأسلوب مشابه يمكن إضاءة الهدف بواسطة الرادار بإشعاع كهرومغناطيسي عند الترددات الرادارية .

د . تقنيات أخرىٰ :

علىٰ الرغم من أن أغلب الجهود المبذولة في المنظومات الأرضية ، تتركز في الوقت الحاضر علىٰ كشف الأهداف بواسطة التأثيرات الكهرومغناطيسية، إلا أن هناك اهتماماً متزايداً في جعل استخدام الطاقة المنتشـرة بطرق أخـرىٰ مثل الموجات المرنة . والمثال الرئيسي هذا يستفيد من الأمواج الزلزالية الناشئة في الأرض عن جسم متحـرك أو عن انفجار . وتُستَخـدم الأمـواج الصـوتيـة في منظومات إيجاد المدىٰ بالصوت لاستمكان المدافع والقناصين. وفي البحر ، علىٰ سبيل المثال، عند البحث عن الغواصات ، يفترض هذا النوع من التقنية ، أهمية عظمىٰ أكثر مما علىٰ اليابسة .

إن العديد من معضلات المراقبة وتحصيل الهدف، لا يمكن حلها بواسطة

طرق مختصرة إلى هذا الحد. مثل إكتشاف الأسلحة المستورة ، والذخيرة أو المتفجرات في موقع سري داخلي . في مثل هذا المجال يجب علىٰ الحواس ووسائل التحسس الأخرىٰ أن تعود بالنفع ، وكأمثلة علىٰ هذا كلاب تعقُّبُ الأثر حيث تستخدم حاسة شمها وتنشقها لكشف الأشخاص والأجسام المختبئة .

٤ ـ المنظومات الفعالة والسلبية :

تقوم منظومة المراقبة الفعالة، بإشعاع الطاقة على الهدف، لغرض إضاءته . ويعتبر استخدام الأنوار الكاشفة ، والليزرات والرادارات أمثلة علىٰ ذلك . ومن الواضح أن هذه التقنيات الفعالة وغيرها يمكن أن تكون مكشوفة وبالتالي تؤدي إلىٰ كشف موضع الراصد وتتعرض نفسها للإجراءات المضادة .

أما المنظومات السلبية فلا تعتمد على الإشعاع المتولد من الراصد ، فهي لذلك تستهلك قدرة أقل واحتمالية كشف موقع الراصد قليلة ، ولكنها تبقىٰ عرضةً للإجراءات المضادة . فعلىٰ سبيل المثال ، قد يتم خداع صواريخ التوجيه الراداري السلبي باستخدام مشاعل الأشعة دون الحمراء التي يتم إسقاطها من طائرة الهدف . ولذلك توضع تأكيدات كثيرة ومهمة علىٰ إحلال المنظومات الفعالة بالمنظومات السلبية حيثما أمكن ذلك .

٥ ـ التحديدات على مديات التحصيل :

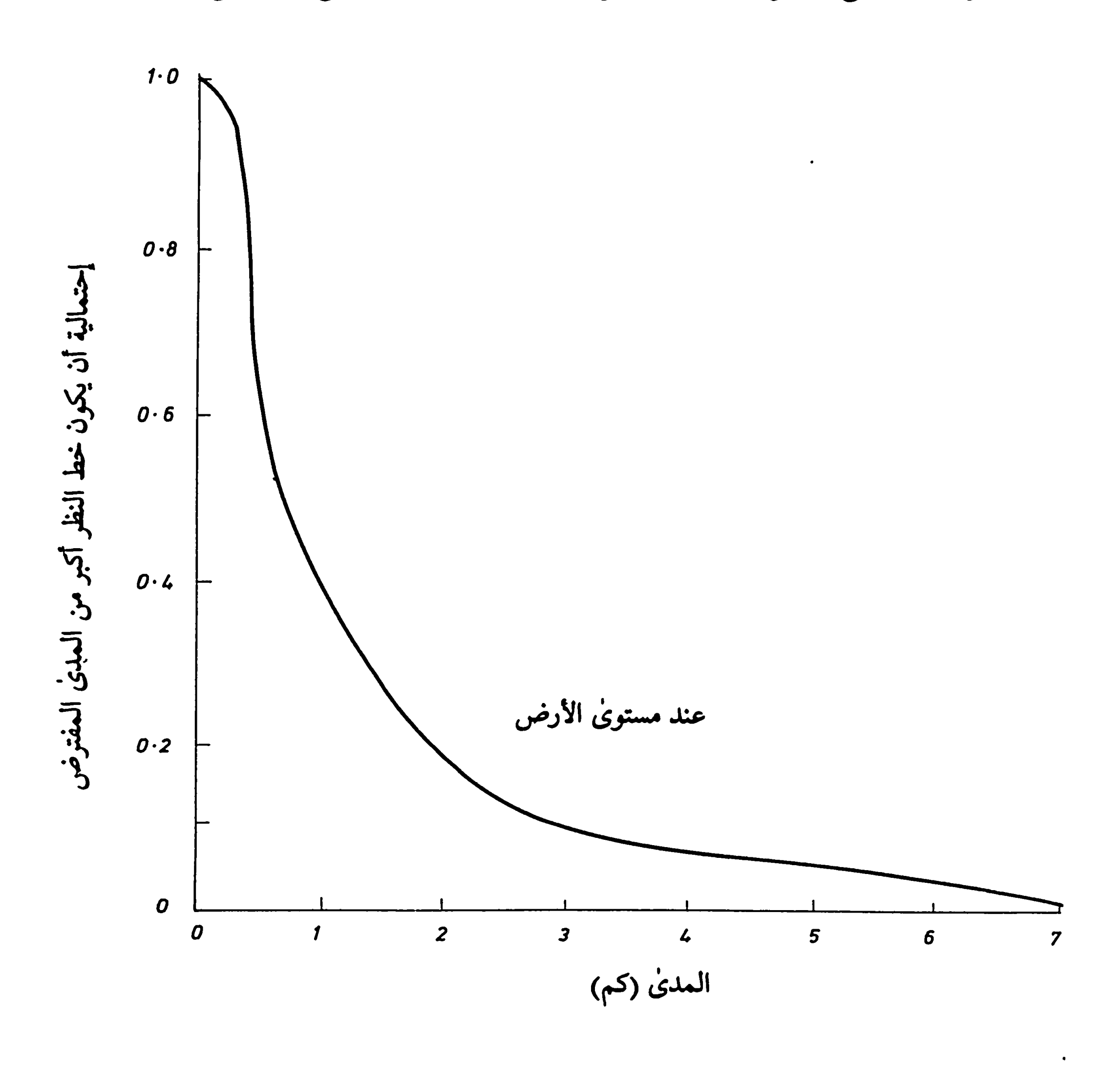
أ . عوامل التحكم :

يتم التحكم ، بالمدىٰ الذي عنده يتم كشف وتعريف الهدف ، من طريق حجاب الأرض أو تبادل الرؤية ، وخصائص الهدف والأحوال الجوية .

ب . الحجاب الأرضي :

تتطلب أغلب وسائل المراقبة خط نظر إلى الهدف . إن المواقع الطبيعية والاصطناعية ، مثل التلول والقرىٰ تحجب الهدف عن الرصد . وفي أنواع محددة من الأرض ، مثل الصحراء ، قد لا يكون الحجاب الأرضي مهماً.

ولكن في بيئة شمال غرب أوروبا ، فإنه يكون تقييداً رئيسياً علىٰ مديات تحصيل الهدف . ويبين الشكل (١ ـ٢) حالات تبادل الرؤيا في شمال غرب أوروبا ؛ حيث يلاحظ أنه عند مستوىٰ الأرض . وفي أغلب الحالات الجوية المواتية ، هناك فرصة أقل من ١٠٪ لإمكانية الرؤية لأكثر من (٣) كم وفرصة ٥٪ لإمكانية الرؤية لأكثر من (٥) كم . وحيث أن توسيع خط النظر يمكن الحصـول عليه بجلوس الراصد فوق أرض مرتفعة ، إلا أن هذا الإشراف الأرضي قد لا يكون ذا أهمية تعبوية . ومن المؤكد أنه ستكون هناك مساحات من الأرض الميتة .



شكل (١ ـ ٢) تبادل الرؤية في شمال غرب أوروبا

جـ . خصائص الهدف :

إن المدىٰ الذي يتم عنده تحصيل الهدف ، يتم التحكم فيه بواسطة التباين بين الهدف وما حواليه والخصائص الفيزياوية للهدف .

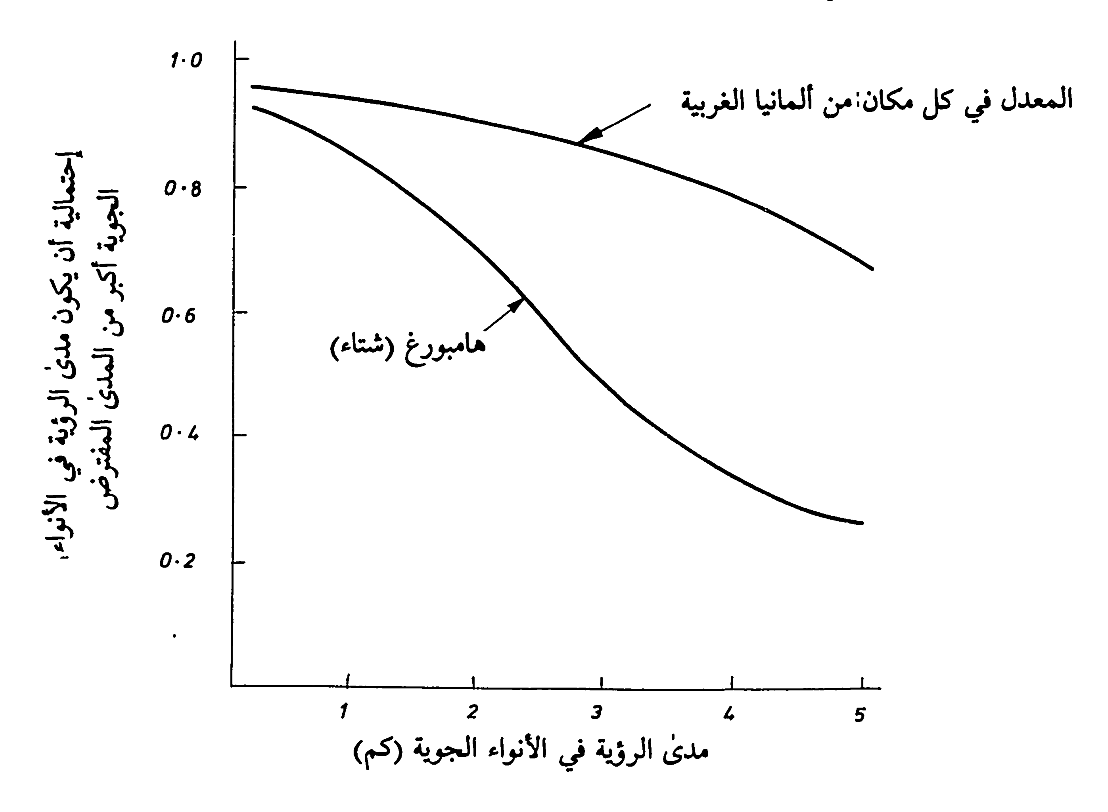
إبتداءً يتم الكشف عن الهدف بواسطة الفرق بين معالمه ومعالم خلفيته ، وهذا هو التباين الخاص به . وكلما كان التباين أعلىٰ كلما كان تحصيل الهدف أكثر سهولة . وبالنتيجة ، فإن الهدف الذي يمثل تبايناً عالياً يمكن رؤيته عند أعظم مدىٰ، أكثر مما يمكن رؤية هدف مختلط مع ما حواليه . ويجب أن يكون التباين واضحاً عند الطول الموجي الذي تشتغل عنده وسيلة المراقبة . فمثلاً الوسيلة التي تكون بارزة عند رؤيتها بجهاز حراري قد، تحجب عن الرصد البصري .

إن الخصائص الفيزياوية التي تؤثر بشكل كبير علىٰ مدى التحصيل ، هي الطاقة التي تشعها أو تعكسها وحجمها . وبعبارات عامة، كلما كان مستوىٰ الطاقة المشعة أو المنعكسة من الهدف أعلىٰ ، كلما عظم المدىٰ الذي عنده يشاهد الهدف . وهكذا فإن حجم الهدف وطبيعة سطحه اللذين يؤثران علىٰ قابلية إشعاع أو إنعكاس (الإبتعاثية والإنعكاسية) ، هما العاملان المهمان في تحديد مديات تحصيل الهدف .

د . حالات الأنواء الجوية :

تعتبر حالات الإضاءة الضعيفة معضلة واضحة . وعملية المراقبة علىٰ الخصوص تكون غير فعالة في الظلام . وتوفر الآلات البصرية البسيطة مثل مسددات الأسلحة والناظور ، بعض التعزيزات، عندما تكون الحالات الجوية صافية . ولكن أداءها في هذه الظروف لا يقارن مع قابلياتها في ضوء النهار : حيث تقل مديات التحصيل حوالي العشرة . كما يتم التحكم بأداء الوسائل السلبية، والتي تفيد من إشعاع السماء الليلي بواسطة مستوىٰ الضوء . ومثل هذه الوسائل لا يمكنها توفير مراقبة ليلية ونهارية. إلا إذا أتيح مصدر إضاءة لاستخدامه في الظلام ، والليالي المعتمة .

وغالباً ما تسبب الأحوال الجوية غير الملائمة إنحطاطاً في قابلية المراقبة ، كما يتأثر أداء كل وسائل المراقبة إلى حدٍ ما بالحالة الجوية غير الملائمة أيضاً . ويعمل كل من الضباب والدخان والمطر علىٰ امتصاص الإشعاع الصادر عن الهدف. كما ويقلل من التباين الذي يُحْدِثُهُ الهدف . وتعتمد قابلية التأثر للتداخل الجوي لمنظومة المراقبة علىٰ الطول الموجي الذي تعمل به المنظومة . وكلما كان الطول الموجي أطول ، كلما قل تأثر المنظومة . والرسم البياني في الشكل (١ ـ ٣) يوضح مدىٰ تأثر المنظومة البصرية . ورغم أن التأثير الكلي ليس خطيراً ، إلا أن التداخل الجوي يمكن أن يكون خطيراً في مناطق محددة ، مثلاً علىٰ أرض ممتدة منخفضة ، وخاصة في الشتاء . والرادار الذي يعمل بأطوال موجية أطول بكثير جداً من الضوء المرئي ، يكون أقل حساسية بكثير للحالات الجوية .



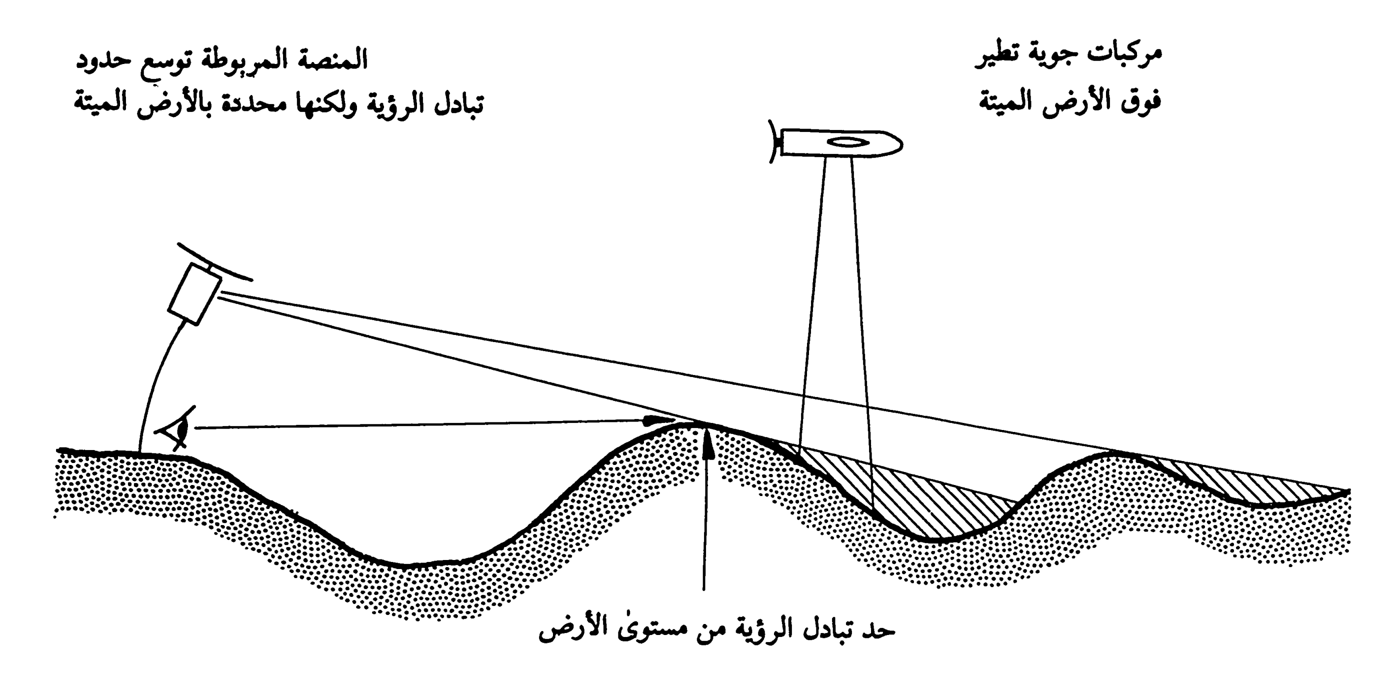
شكل (١ ـ ٣) مدىٰ الرؤية في الأنواء الجوية في ألمانيا الغربية (نهاراً)

ومن المطلوب أن تكون هناك منظومة تستطيع العمل طوال (٢٤) ساعة

متواصلة . ويفضل اختيار المنظومة البصرية أثناء النهار وفي جو صحـو، لأن قابليتها على التفريق أفضل من أي شكل آخر من أشكـال وسائـل المراقبـة . ولذلك فالمنظومة تستطيع إنجاز عمليتي التمييز والتعريف عند مديات عظمىٰ من المنظومات الأخرىٰ . كما أنها تكون سهلة بالنسبة للمشغل لتفسير الصـورة . ولكن المنظومة البصرية لا يمكنها العمل في الظلام ، ولذلك تبرز الحاجة إلىٰ بعض الوسائل الأخرىٰ مثل مكثف الصورة ، وتلفزيون الإضـاءة المنخفضة ، وجهاز التصوير الحراري ، وذلك اعتماداً علىٰ البيئة . وبدورها فإن هذه الوسائل تنخفض في أدائها في الأحوال الجوية غير الملائمة ، لذلك تبرز الحاجة إلىٰ الرادار لضمان قابلية العمـل في كل الأحـوال الجويـة . ولكن قابليـة التفريق الراداري تكون بالشكل الذي يجعل هذه القابلية ذات تمييز محدود . فالرادار يمكنه إخبارنا بالفرق بين العجلة المسرفة والعجلة المدولبة وبين الرجل ، ولكن لا يمكنه إخبارنـا بالفـرق بين الأنواع المختلفـة للعجلات المسـرفة . لـذلك ولغرض توفير قابلية عمل لكـل الأجواء ، نهـاراً وليلاً ، فـإن تقنية واحـدة لا تكفي ، مما يتطلب الحاجة إلىٰ تقنيات مختلطة ومتوازنة فيما بينها .

٦ ـ المراقبة بالعمق لساحة المعركة :

تبرز الحاجة ، في أغراضِ تحصيل الهدف ، إلىٰ منظومة مناسبة للمراقبة في عمق منطقة النفوذ ، ولكن المراقبة العامة مطلوبة أيضاً إلىٰ حدود منطقـة التأثير . فعلىٰ مستوىٰ الفرقة فإن هذه الحدود قد تكون (١٠٠) كم و(١٥٠) كم علىٰ التوالي . وهكذا من الواضح أنه يجب تجاوز تأثيرات الحجاب الأرضي . وهناك طريقتـان لعمل هـذا : إما رفـع جهاز التحسس أو تحـريكه قـريباً إلىٰ الهدف . وإما بتوسيع خط النظر ، وذلك بـرفع وسيلة المـراقبة فـوق مستوىٰ الأرض . ويتحسن تبادل الرؤية كلما ازداد الارتفاع . ويوفر الرصـد العمودي تغطية أكثر تكامـلاً حيث إنه عنـد الارتفاعـات الواطئـة يمكن حجب الميلان المعكوس عن الرؤية الشكل(١ ـ ٤) . ويمكن مراقبة المناطق المحجوبة عن الرصد من قبل القطعات أو وسائل المراقبة المثبتة في الأرض الميتـة ، حيث يشار إلىٰ هذه الطريقة بالمراقبة الأرضية من بُعْدٍ .



شكل (١ ـ ٤) المراقبة بواسطة المنصة المربوطة والعجلة الجوية

أ . المراقبة الجوية :

سنشير أدناه إلى أنواع المركبات الجوية المحتمل إتاحتها لعمليات المراقبة . ولا يشمل هذا الأقمار الصناعية لأنها ليست مركبات جوية . ومع ذلك فإن للأقمار الصناعية أهمية قصوىٰ في الحصول علىٰ معلومات سوقية (استراتيجية). وفي المستقبل من غير المحتمل أن تكون الأقمار الصناعية مصدراً منتظماً ومعولاً عليه في استخبارات المعركة في كافة الأحوال الجوية . لذلك فإن المركبات الجوية المأهولة وغير المأهولة ستبقىٰ مهمة .

والطائرة المأهولة ذات الأداء العالي، تكون قادرة على الاختراق بالعمق والمراقبة علىٰ مستوىٰ منخفض . وفي الوقت الحاضر فإن المعلومات المكتسبة من أجهزة التحسس يتم تسجيلها علىٰ فلم لغرض استثمارها بشكل متتالٍ . ولا يتم إرسال المعلومات أثناء الطيران رغم أن هذا ممكن تقنياً ، وبالتالي فإن الزمن منذ طلب المهمة إلىٰ حين استلام المعلومات الاستخبارية ـ زمن الاستجابة ـ هو مسألة ساعات .

وللطائرات العمودية أداء مُحسَّن إلى درجة كبيرة للعمل ليلاً ونهاراً، وفي

مختلف الظروف الجويـة . والمساعـدات البصريـة مثل المسـددات المستقرة والنواظير تكون متاحةً لاستخدامها في وقت النهار، في حين يتاح كل من مكثف الصـورة وتلفزيـون الإضاءة المنخفضـة في الاستخـدام الليلي ، كمـا يمكن استخدام التصوير الحراري مستقبلاً . ومع ذلك فإن الطائرات العمودية تكون واهنة ومن غير المحتمل استخدامها أمام الخط الأمامي للقطعات (FLOT) ، وبالتالي تكون قابلياتها للرؤية إلى عمق مواضع العدو ، محدودة .

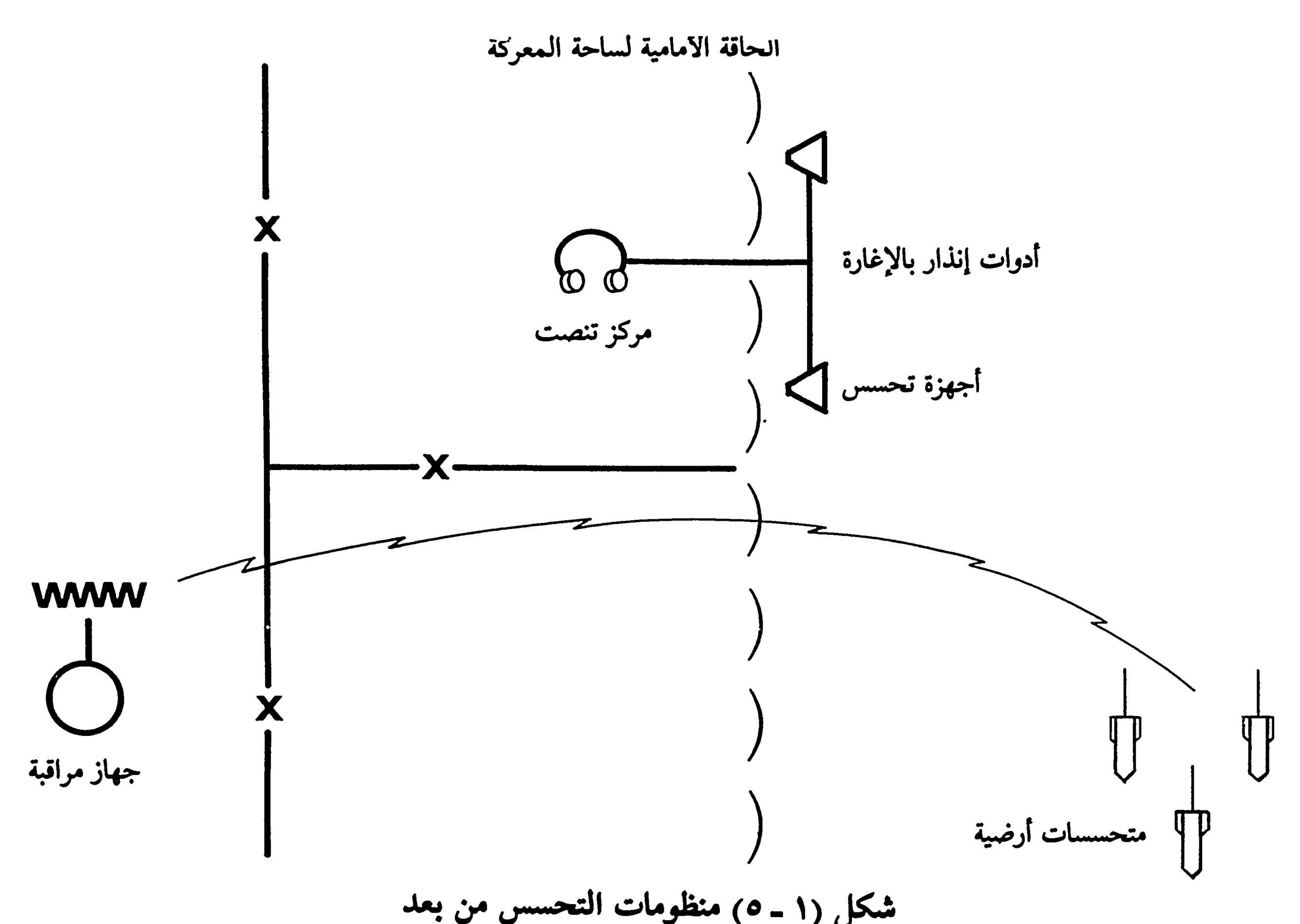
والساريات عبارة عن وسائل لرفع أجهزة المراقبة فوق مستوىٰ الأرض . وقد جُربت عدة تقنيات متقدمة ولم يثبت أي منها نجاحه. إن عدم الاستقرارية في الريح يعتبر من المعضلات الخطيرة .

والمركبة الموجهة من بعد (drone) هي مركبة جوية غير مأهولة تطير علىٰ خط طيران مُعَد مسبقاً . وعلىٰ غِرار طائرة الإستطلاع المأهولة فـإنها تسجـل المعلومات التي تحصلها علىٰ فلم لأغراض التحليل المتتابع . كما يمكن إرسال المعلومات أثناء الطيران . وهذه المركبة الموجهة من بعد تعتبر غير واهنة نسبياً كما ولها زمن استجابة جيد. أما العائق الرئيسي لهذه المركبة فهو عدم مرونتها . وليس هناك من وسيلة لتغيير مسار طيرانهـا بعد إطـلاقها . وتتميـز المركبـات الحديثة الموجهة من بعد بقابليتها علىٰ الإختراق إلىٰ حوالي (٥٠) كم خلف الخط الأمامي للقطعات .

والمركبات الطائرة المقودة من بعد (RPVS) هي مركبات جوية غير مأهولة يمكن السيطرة علىٰ خط طيرانها بواسطة طيار أرضي أو محمول جواً ، وهي أكثر مرونة من المركبة الموجهة من بعد (drone) ، لأن خرج جهاز تحسُّسي المراقبة يمكن مراقبته ، كما أنه يمكن توجيه المركبة إلىٰ أي مكان يرغبه المسيطر وإنجاز أية مهمة يـطلبها . إنهـا مركبـة مناسبـة للطيران فـوق الهدف لتصحيـح نيران المدفعية بوسائل كهروبصرية . ويعتبر الحجاب الأرضي عامل تحديد للمسافة التي يستطيع الطيار السيطرة علىٰ الـ (RPV) بسبب الحاجة إلىٰ المحافظة علىٰ وصلة المواصلات معها . وستكون منظومة (RPV) أغلىٰ من منظومة (drone) .

ب . المراقبة الأرضية من بُعْد :

تُستخدم جماعات الدوريات والمراصد للحصول علىٰ المعلومات من خلف الخطوط الأمامية للعدو . وهم مستمرون في آداء دورهم في منظومة المراقبة ، وإن استخدامهم هي قضية تعبوية خارج نطاق هذا الكتاب . وتستخدم هذه الجماعات معدات مراقبة لمساعدتهم في تأدية وظيفتهم. من ناحية ثانية فقد شهدت العشرين سنة الأخيرة تطويرات علىٰ أجهزة التحسس الأرضية من بعد (RGS) . وتقع المنظومات غير المأهولة في صنفين : أدوات الإنذار بالإغارة لكشف اختراق العدو داخل المناطق الصديقة ، وأجهزة تحسس أرضية غير مصاحِبة لمراقبة نشاط العدو في العمق . ويبين الشكل (١ ـ ٥) منظومة متحسس غير مأهولة . إن العناصر المكونة لهذه المنظومات هي جهاز تحسس أو أجهزة تحسس ، ووصلة مواصلات ومنظومات مراقبة .



شكل (١ ـ ٥) منظومات التحسس من بعد

ويمكن استخدام تقنيات متنوعة مثل زلزالية ، صوتية ، رادارية أو الأشعة دون الحمراء . وفي أبسط منظومة ، يرتبط كل جهاز تحسس بشكل مباشر إلىٰ وصلة مواصلات حيث تتم عملية مراقبة جهاز التحسس باستمرار . أما في المنظومات الأكثر تعقيداً فيعمل جهاز التحسس علىٰ تحليل المعلومات ومعالجتها وإرسالها إلىٰ جهاز المراقبة .

ويمكن ربط أجهزة التحسس إلىٰ جهاز المراقبة بواسطة وصلة المواصلات باستخدام خط سلكي أو جهاز لاسلكي . ومن الضروري إستخدام المرحلات في طرق الإرسال الطولية .

إن المعلومات الآتية من أجهزة التحسس يمكن عرضها علىٰ جهاز مراقبة على شكل إشارات إنذار مسموعة أو مرئية ، أو في المنظومات الأكثر تعقيداً يمكن أن تتكامل هذه المعلومات في خريطة أو مبينات رقمية أو جهاز راسم .

٧ - الخلاصة :

تعتبر مراقبة ساحة المعركة جزءاً حيوياً من عملية الحصول علىٰ إستخبارات المعركة المطلوبة من قبل القائد لغرض تخطيط وإدارة العمليات الحربية ؛ وتصبح قابلية تحصيل الهدف ضرورية إذا أراد القائد استخدام الأسلحة المتيسرة لديه . إن العمق الذي يريده القائد أن يكون فعالاً من منظومة المراقبة وتحصيل الهدف ، إنما يُمليه عليه عمق مناطق تأثيره ونفوذه . وهو يحتاج إلىٰ قابلية عمل (٢٤) ساعة ، وفي كافة الأجواء ، مما يجعل من استخدام عدة تقنيات تتم الواحدة الأخرىٰ، شيئاً أساسياً . إن الطلب هو طلب تقني ولكنه ، مالياً ، غالي الثمن .

« الفصل الثاني »

البصريات

١ ـ مقدمة :

تعتبر عين الإنسان الوسيلة الأساسية للمراقبة البصرية ، أما التلسكوب فهو الآلة الأولىٰ التي استخدمت لتوسيع مداها . ولا تزال معدات التسديد والمراقبة المعاصرة تستخدم التقنيات البصرية البحتة . ويستخدم الموشور ثنائي العينية الحديث ومشتقاته بشكل واسع، لأغراض المراقبة. كما وتستخدم التلسكوبات لأغراض التسديد .

ويتعلق هذا الفصل بمبادىء وأداء المنظومات البصرية الصرفة ، وبضمنها العين ، واستخدامات هذه المنظومات في التطبيقات العملياتية .

٢ ـ عين انسان :

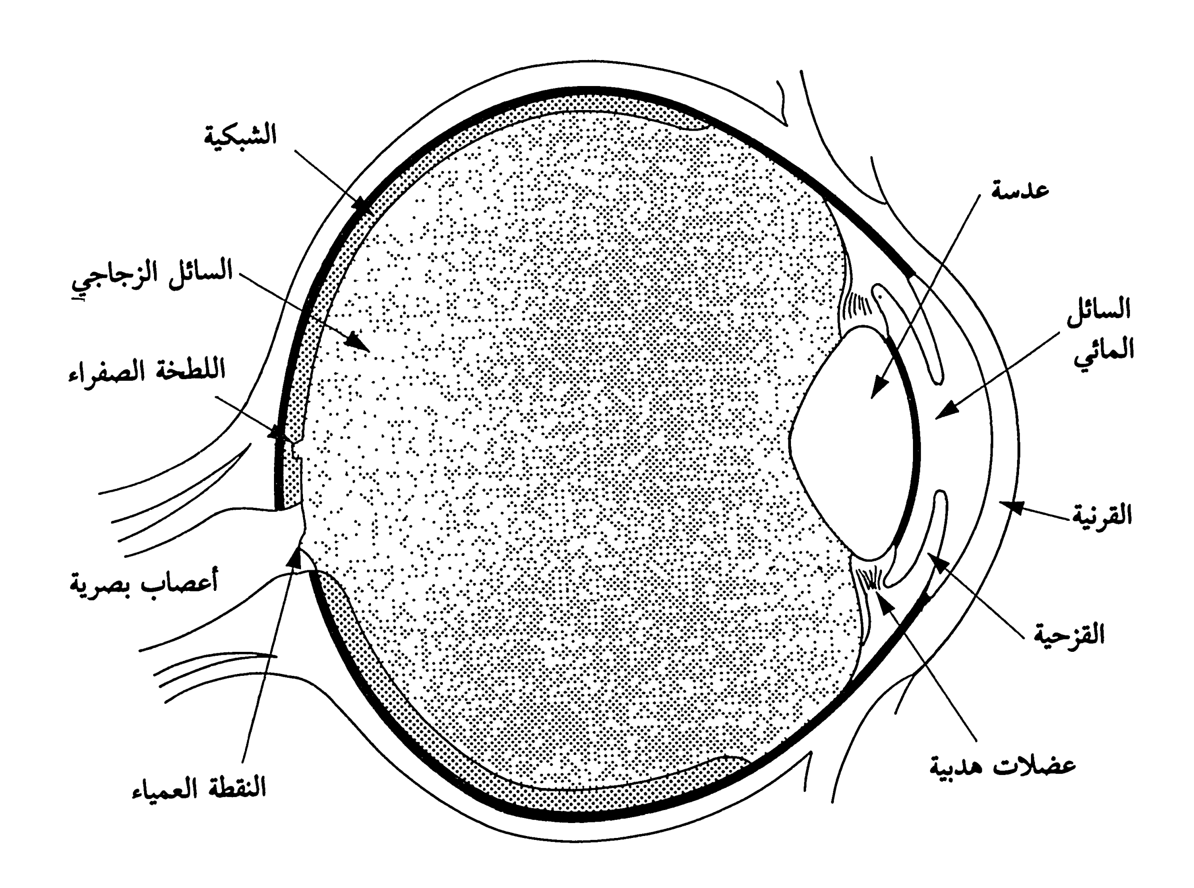
أ . تركيب العين :

العين منظومة بصرية متعددة الإستعمالات ، ولها استجابة حركية عظيمة إلى حد أبعد من أية وسيلة تحسس أخرىٰ للضوء الأحادي . وفي الظروف الإعتيادية تعمل العين من خلال رؤية مجسمة ثنائية العينين مع ألياف عصبية بين العين والدماغ مكونة ربطة مواصلات لمعالجة المشهد المرئي . ولعين الإنسان قدرة عظيمة على التكيف والتمييز بين الألوان ودرجات اللون ، وهي تعمل بشكل جيد في حالات ضوء النهار ، كما تعمل أيضاً علىٰ نطاق متغير نزولاً إلىٰ مستويات ضوئية منخفضة جداً . وللعين مجال رؤية معدَّل يقارب (٣٠) درجة

في الإرتفـاع و (٤٠) درجة في الاتجـاه ، ومجال رؤيـة دائريـة حوالي (١٠) درجات ومجال رؤية مركزية جيدة ذات قطر من (١) إلى (٢) درجة . ويمكن كشف الحركة في الرؤية المحيطية إلىٰ ما يقارب (١٨٠) درجة في الإتجاه .

ويوضح الشكل (٢ ـ ١) التركيب البصـري الأساسي للعين . وتحتـوي العين علىٰ عدسة بلورية مكونة من نسيج شفاف لزج يساعد في التركيز البؤري لصورة الجسم علىٰ شبكية العين . وفي الجانب الخلفي لعدسة العين هناك مادة لزجة (هلامية) تدعىٰ السائل الزجاجي .

وفي الجانب الأمامي هناك محلول ملحي مَذِق هو السائل المائي للعين ، الذي يكون مشدوداً إلىٰ القرنية . وتعمل العضلات الهدبِّية علىٰ تنظيم شكل عدسة بحيث تمكن العين من التركيز علىٰ الأجسـام علىٰ مسافـات مختلفة .



شكل (٢ ـ ١) مقطع عرضي لعين الإنسان

وتدعى هذه العملية التكييف ، ولكن بسبب أن كلا السائلين له معامل إنكسار مشابه لمعامل إنكسار عدسة العين ، فإن قدرة العدسة تكون ضعيفة جداً وأن أغلب التقارب يحدث نتيجة تحدب القرنية .

وتمتد شبكية العين علىٰ كل نصف الكرة الخلفي للعين . وهي تركيب متعدد الطبقات ومعقد تقوم بتحويل طاقة الضوء إلىٰ إشارات كهربائية تُحْمَل بواسطة أعصاب بصرية إلىٰ المنطقة اللحائية للدماغ لتوليد الإحساس بالرؤية وفي الطبقة قبل الأخيرة للشبكية تقع العصيبات rods والمخاريط Cones وتنجز هذه المستقبلات الضوئية عملية تحويل الطاقة عبر طبقة خارجية لمادة حساسة للضوء ، التي في حالة العصيبات تُعرَف علىٰ أنها مادة ذات صبغة حمراء حساسة للضوء ، وهي مادة rhodopsin الكيماوية . وتسمىٰ المنطقة التي منها تترك الأعصاب البصرية العين بالنقطة العمياء وهي الجزء الوحيد من الشبكية التي تكون غير حساسة تحت كل الظروف .

واللطخة الصفراء هي منخفض صغير علىٰ الشبكية بقطر (١,٥) ملم وهي المنطقة التي يتركز فيها الضوء القادم من جسم بعيد علىٰ المحور البصري . وتحتوي علىٰ المخاريط Cones فقط ، وهذا يعطيها القابلية علىٰ التفصيل الدقيق ورؤية اللون في النهار ولو أنها غير فعالة للرؤية الليلية . وبما أن الزاوية تزداد ابتداءً من اللطخة الصفراء فإن تركيز المخاريط Cones ينقص بصورة فجائية حتىٰ يصل إلىٰ درجات أكبر من (٢٠) درجة من اللطخة الصفراء حيث تبقىٰ العصيبات هي المستقبلات الضوئية الوحيدة ، وهي المتحسسات الرئيسية للرؤية في الليل .

وكما يُرىٰ من الشكل (٢ ـ ١) فإن للشبكية تقوس واضح . ويتم تركيز الضوء الذي يدخل العين بزاوية سقوط كبيرة إلى المحور البصري ، علىٰ نقطة على الشبكة وعلىٰ حدود نصف كرة تقريباً ، وفي منطقة مسيطر عليها كلياً من قبل العصيبات. وهذه الرؤية المحيطية يتبعها عادة منعكس التثبيت حيث تتحرك العين لجلب صورة الجسم علىٰ المخروط لغرض الرؤية التفصيلية .

وهناك حوالي ١ × ١٠^٨ من العصيبات و ٦ × ١٠^٦ من المخاريط Cones و ١ × ١٠^٦ ليف عصبي . من هنا فإن بعض الألياف العصبية تربط إلىٰ مجاميع كبيرة جداً من العصيبات تعمل علىٰ جمع تأثيرات الضوء علىٰ مساحة كبيرة نسبياً من الشبكية . وهذا التكامل للضوء علىٰ عدة عصيبات يحسن من نسبة الإشارة إلىٰ الضوضاء تحت ظروف الضوء المنخفض وإلى حدٍ ما يعادل نقصان القابلية لتحسس التفاصيل . ولكن هناك فقط نسبة صغيرة من المخاريط ترتبط بخط منفرد إلىٰ الدماغ وهذه المخاريط ستضيق إلىٰ منطقة اللطخة الصفراء وتوضح الدرجة العالية للإدراك الحسي البصري عند استعمال هذه المنطقة من الدماغ .

ب . الرؤية في الضوء :

إن الرؤية في ضوء النهار تعرف أيضاً بالرؤية في الضوء وهناك شبكية للضوء مترافقة، والتي تتركب بشكل تام تقريباً من المخاريط Cones . ويتم تنشيط هذه المخاريط بواسطة مستويات النصوع أو اللمعان الأعلىٰ من (٣ × ١٠^-٢) شمعة م^-٢ ، وإن العين تكون مكيفة للضوء بشكل تام (١٠٠) مرة مضروباً في قيمة حد العتبة . ويظهر الحد الأعلىٰ لتفاوت الإبصار لمستويات النصوع عند قيمة (٣ × ١٠^٥) شمعة م^-٢ . وشبكية الضوء لها قابلية الرؤية اللونية .

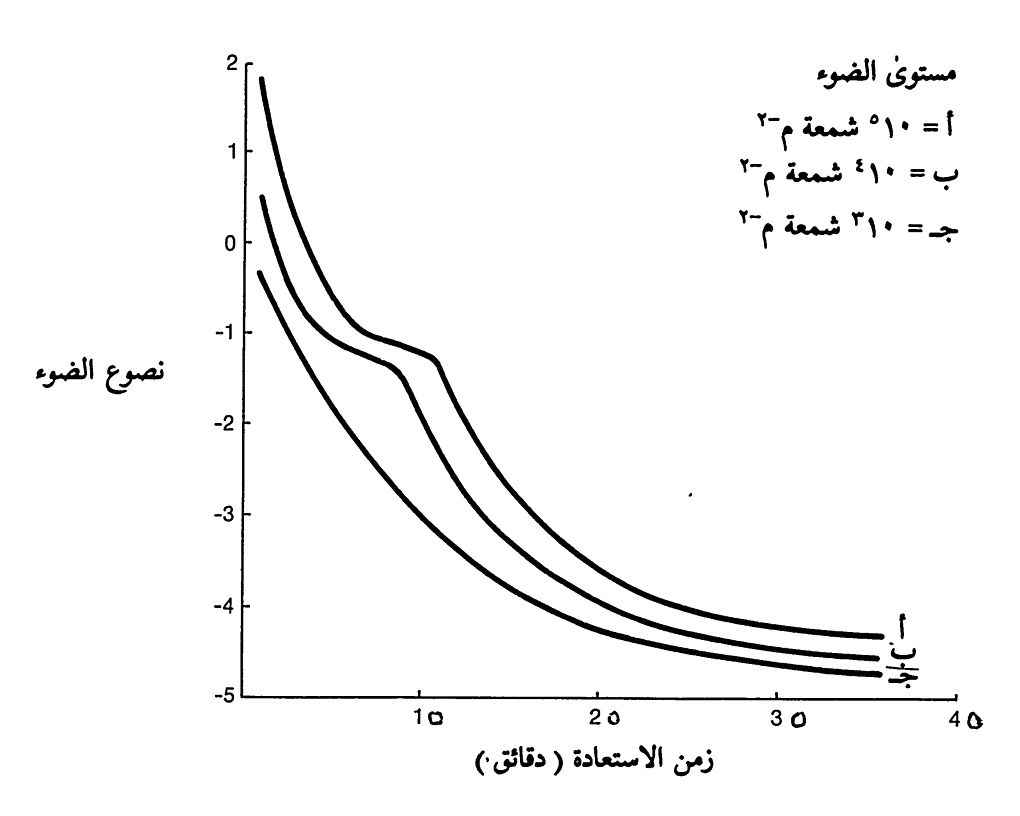
جـ . الرؤية في الظلمة :

ترتبط الرؤية في الظلمة باستجابة العصيبة وتسود عند مستويات الإضاءة المنخفضة . ويتم حث العصيبات بمستويات نصوع أقل من ٣ × ١٠^-٢ شمعة م^-٢ وتكون العين مكيفة للظلام بمستوىٰ نصوع ٣ × ١٠^-٥ شمعة م^-٢ إلىٰ أدنىٰ مستوىٰ للإبصار الذي يظهر عند مستوىٰ ٣ × ١٠^-٧ شمعة م^-٢ . ويعتمد الزمن المستغرق للتكيف التام للظلمة علىٰ التبدل في حالات الإضاءة. ولكنه يكون بحدود (٣٠) دقيقة من الرؤية في الضوء عالية المستوىٰ إلىٰ حد العتبة للرؤية في الظلام . وهذا نتيجة الوقت المستغرق لإنشاء التركيز الكافي لمادة الـ rhodopsin الكيميائية في العصيبات . وهذه المادة تتعرض لعملية قصر

بسرعة عند تعرضها إلىٰ ضوء موجَّه لتحفيز العصب البصري . ويعتمد هذا الحافز علىٰ كمية الضوء التي تمتصها مادة الـ rhodopsin ، وليس نوع الضوء ، وهو سبب عدم تمييز الطول الموجي في شبكية الظلمة ، ولهذا لا نستطيع رؤية الألوان ليلاً .

د . تكيف (العين) للظلمة :

يبين الشكل (٢ ـ ٢) المعالم العامة لتكيف العين للظلمة والذي يبين رسم خط العتبة لتحفيز الإبصار مقابل الزمن من حيث تتعرض العين إلىٰ ضوء قبل التكييف .



شكل (٢ ـ ٢) تكيف العين للظلمة

ويتضح من الشكل أنه رغم أن كلاً من العصيبات والمخاريط تبدأ بالتكيف بشكل آني ، فإن المخاريط هي التي تحدد حد العتبة للإبصار لأزمان الاستعادة

القصيرة التي تلي التعرض إلىٰ مصدر الضوء قبل التكييف . من ناحية ثانية فإن المخاريط تصل بسرعة إلىٰ حد الإشباع . وإن العصيبات هي التي تستمر في عملية التكيف للأزمان الطويلة . كما يبين الشكل أنـه كلما انخفض مستـوىٰ الإضاءة قبل التكييف ، كلما كانت عملية تكيف العين للظلمة أسرع وكلما كانت عملية المرحلتين أقل وضوحاً إلى حد أنه عند أوطأ المستويات تتم السيطرة علىٰ الإستعادة بالكامل من قبل تكيف العصيبة .

وتشير المعطيات في الشكل (٢ ـ ٢) إلىٰ تكيف متقدم تام للضوء الأبيض وإلىٰ حد الإختبار للضـوء الأزرق الوامض . وتـطبق نفس خصائص التكيف للظلمة عندما يكون لكـل من التكيف المتقدم للضـوء ولضوء الاختبـار أطوال موجية مختلفة . وعموماً فإن عملية التكيف للظلمة أسرع عندما يكون الطول المـوجي للضوء المكيف المتقـدم أطول ، والـطول الموجي لضـوء الاختبـار أقصر .

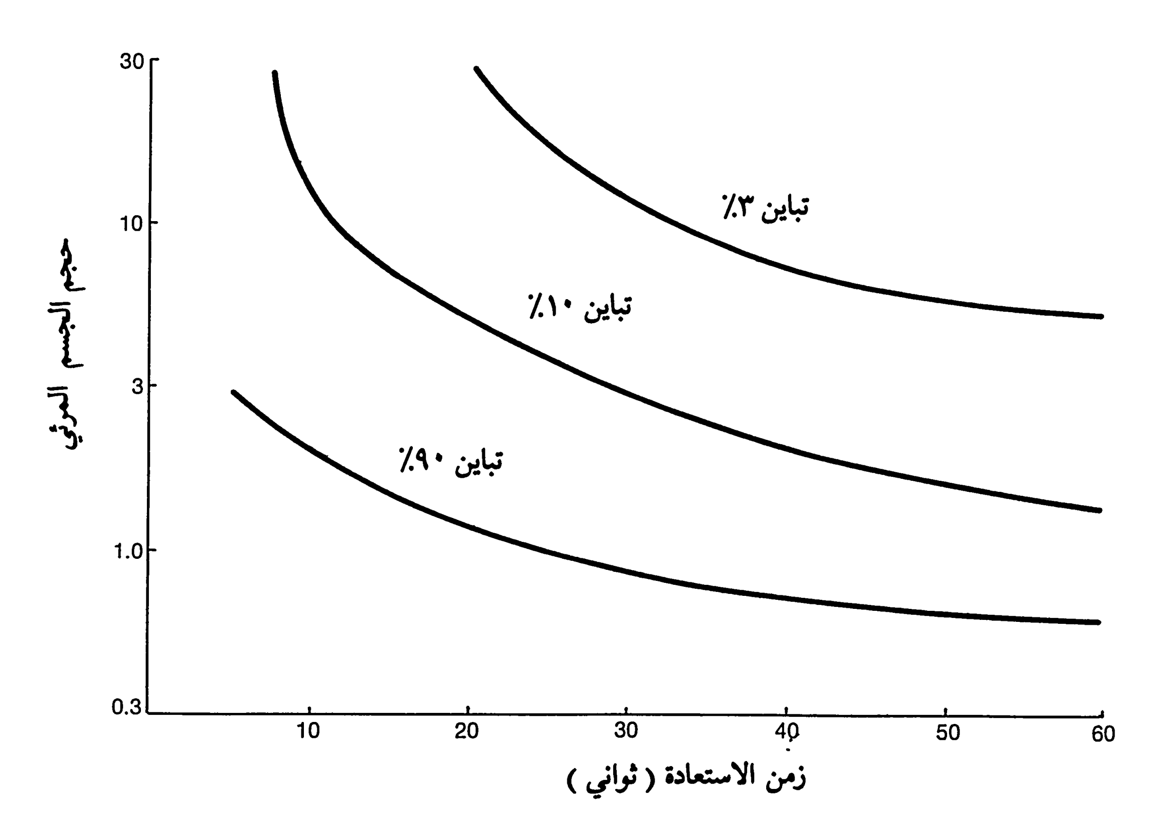
ويوحي هذا أنه لكي نحمي تكيف العين للظلمة تحت ظـروف ساحـة المعركة ، فإنه يجب إرتداء النظارات الحمراء . من ناحية ثانيـة فإن مستـوىٰ نصوع حد العتبة للضوء الأحمر (ضوء الإختبار) هو بحدود (١٠٠) مرة أكبر من الضوء الأزرق ، وإحدىٰ الطرق لزيادة حساسية العين للتكيف علىٰ الظلمة هي بإضاءة المناطق المضاءة بشكل خافت ، بالضوء الأزرق . ولهذه الطريقة ميزة إضـافية في المحـافظة علىٰ الاختفـاء لأن الضوء الأزرق يـظهر في الـوميض الفسفوري الطبيعي ، وبالأخص في الغابات والبحار .

وفي حـالة التعـرض إلىٰ نبضة ضـوئية مثـل ومضة مـدفع فـإن المعدل الإبتدائي لزمن الاستعادة يتوقع له أن يكون أسرع مما هو عليه بالنسبة لمصدر ضوئي ثابت ولنفس درجة النصوع ، ولكن المراحل التالية تتبـع نفس العملية البطيئة .

إن المناقشة أعلاه تخص حالة : أن الجسم إما أن يكـون مرئيـاً أو غير مـرئي . وإذا أريد فهم التفـاصيل ، فـإن عملية التكيف للظلام ستـأخذ وقتـاً

طويلاً ، وحد العتبة النهائي سيكون أعلىٰ ، إلىٰ درجة تعتمد علىٰ مستوىٰ حدة الإبصار المطلوب تحقيقه . فمثلاً ، قيمة حد العتبة للوصول إلى حدة إبصار قياسية بمقدار (١ دقيقة) للقطاع ، هي (٣) شمعة م$^{-٢}$ وهي أكبر من قيمة الكشف المجرد للإشارة المرئية بمقدار أربع مرات .

ويبين الشكل (٢ ـ ٣) كيف يتم تحديد معدل التكيف للظلام بواسطة التباين في المشهد .



شكل (٢ ـ ٣) تكيف العين للظلمة كدالة لنسبة التباين

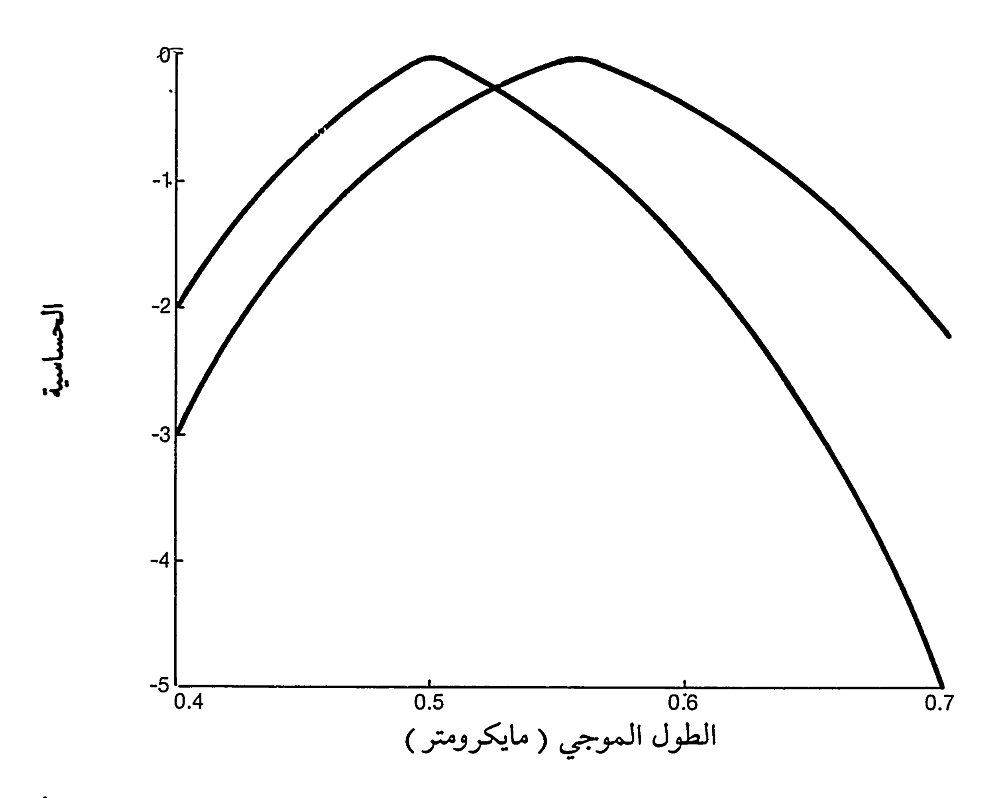
هـ . تكيف العين للضوء :

إن عملية التكيف للضوء هي أسرع من عملية التكيف للظلمة ويبلغ زمن إستعادة الحساسية بشكل تام حوالي .(١٠) دقائق . ويعمل السطوع علىٰ تقليل إدراك التفاصيل لأن تبعثر الضوء ضمن العين يقلل من نسبة تباين اللمعان . ومع ذلك فإن العين تستطيع أن تكشف في آن واحد تقريباً ، ١٪ فقط من نصوع

الجسم الذي نُظِرَ إليه آنذاك ، كما يُكتَشَف عادة لدى القيادة مقابل المصـابيح الأمامية على طول طريق ريفي ليلاً .

و . رؤية الصورة المتوسطة :

ضمن منطقة النصوع المتوسطة الممتدة من (١٠^-٣) شمعة م^-٢ إلىٰ (١) شمعة م^-٢ تتم السيطرة علىٰ الإبصار من قبل كلٍ من العصيبات والمخاريط ، ضمن المنطقة الوسطىٰ من الشبكية . وتكون شبكية الصورة المتوسطة مسؤولة



شكل (٢ ـ ٤) استجابة الطول الموجي للعصيبات والمخاريط

عن رؤية الشفق وبالأخص للعملية المسماة بظاهرة «Purkinje» ، ويبين الشكل (٢ ـ ٤) الاستجابة النسبية للطول الموجي لكلٍ من العصيبات والمخاريط .

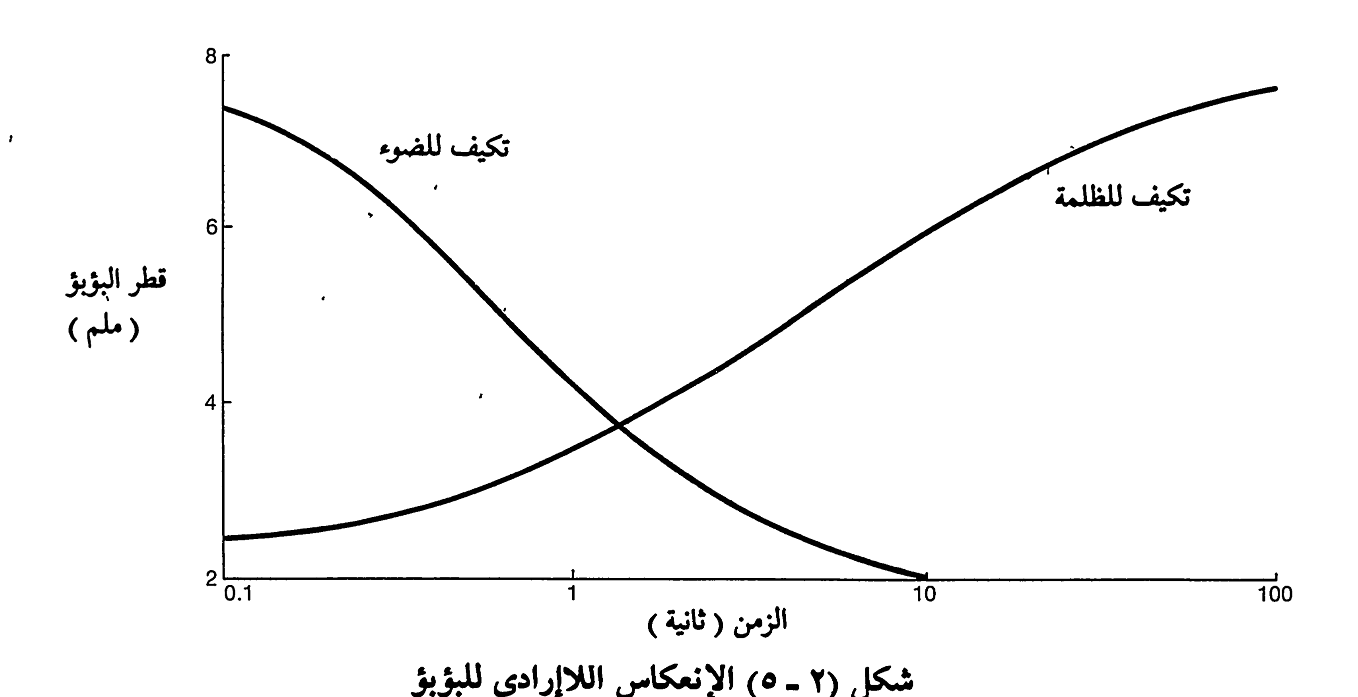
ويبين الشكل أن أقصىٰ حساسية للطول الموجي يتم إزاحتها من (٠,٥٥) مايكرومتر تحت ظروف الرؤية في ضوء النهار إلىٰ (٠,٥) مـايكرومتـر للعين المكيفة للظلمة . ولذلك فإن اللمعان وتدرج الألوان والتي تظهر في حـالات

الضوء الاعتيادي ؛ تختلف تحت ظروف رؤية الشفق. وتكـون العين المكيفة للظلمة أقل حساسية بكثير للضوء الأحمر وأكثر حساسية عنـد النهايـة الزرقـاء مقارنةً مع العين المكيفة للضوء . إن التبدل في الحساسية القصوىٰ هو ما يعرف بـإزاحة «Purkinje» ويحسب تبـدلات اللون الظاهـرة التي تظهـر في منطقـة الشفق . وهكذا كلما تضاءل الضوء تبدل النصوع النسبي ، وإن الجسم الأحمر الذي يظهر لامعاً في ضوء النهار أكثر من الجسم الأزرق المجاور ، سيصبح أكثر ظلمة كلما انخفض مستوىٰ الإضاءة .

وعنـدما تفقـد الأجسام ألـوانها فـإنها ستصبـح صعبة التمييـز ، كما أن التبدلات في اللمعان تجعل من الصعب فصل الظلال عن الأجسام الحقيقية ، وهذه الفروقات الدقيقة في اللون تجعل من الصعب الحكم على المسافات التي تقع عندها الأجسام بسبب تعكر مفاهيم الرؤية ثلاثية الأبعاد .

ز . الإنعكاس اللاإرادي للبؤبؤ :

يبين الشكل (٢ ـ ٥) التبدلات التي تظهر في قزحية العين بواسطة تطبيق وإزالة (٣٢٠) شمعة م$^{-٢}$ من النصوع .



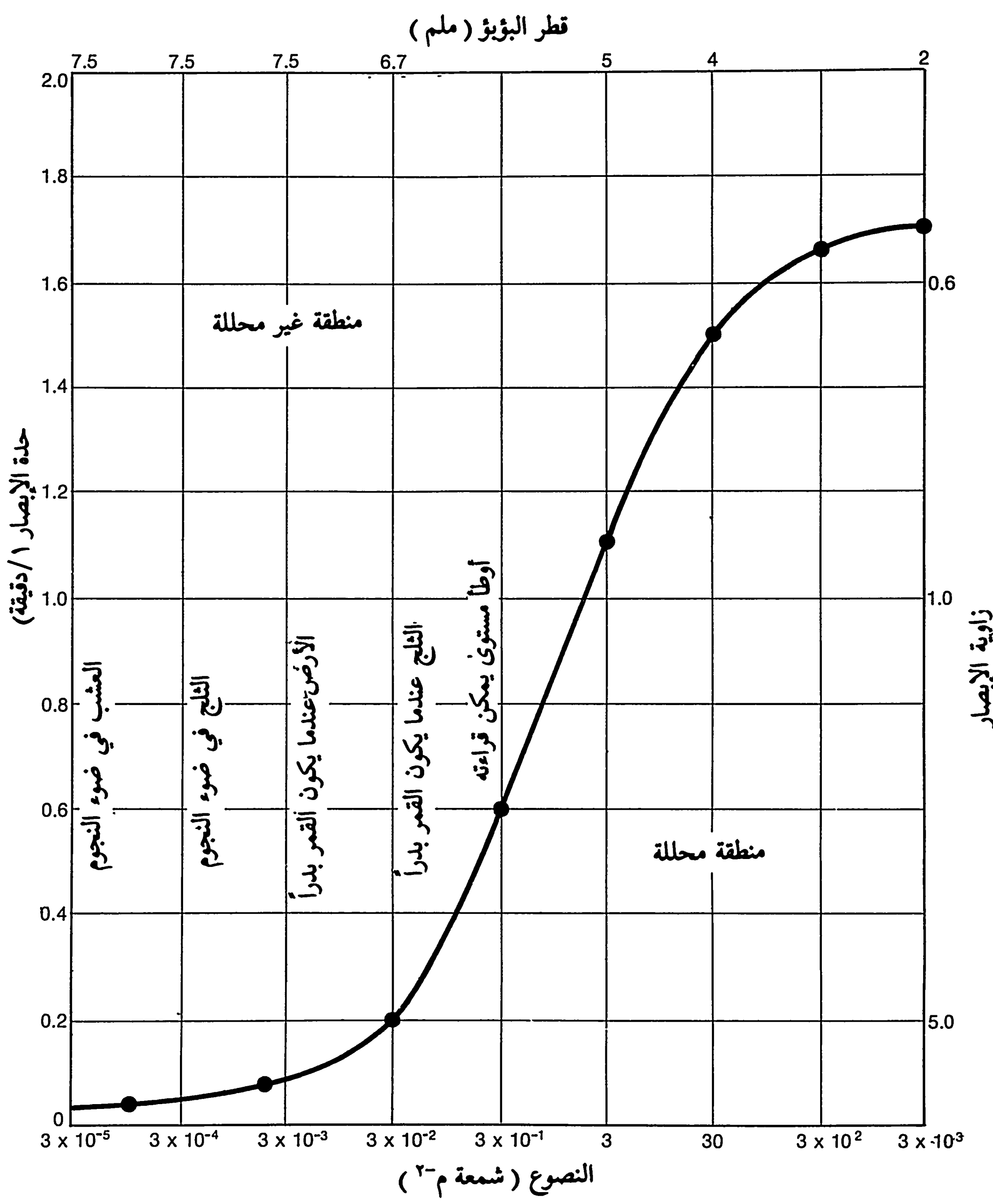
شكل (٢ ـ ٥) الإنعكاس اللاإرادي للبؤبؤ

ويؤدي إنعكاس البؤبؤ إلىٰ أداء بصري مثالي . ففي مستويات الإضاءة المنخفضة حيث يكون ، ضوضاء الفوتون ومستوىٰ الإشارة المطلقة هي الحدود الأولية للإدراك الحسي ، فإن البؤبؤ يتسع لزيادة قدرة تجميع الضوء . وعند مستويات الضوء العالية ، حيث يكون الأداء الصوري للعين هو العامل المسيطر ، فإن البؤبؤ يضيق ليعطي توازناً أمثل بين تأثيرات الحيود والزيغ ، كما يقلل أيضاً إضاءة الشبكية، وبالتالي يسرِّع عملية التكيف للظلمة .

ح . حدة الإبصار :

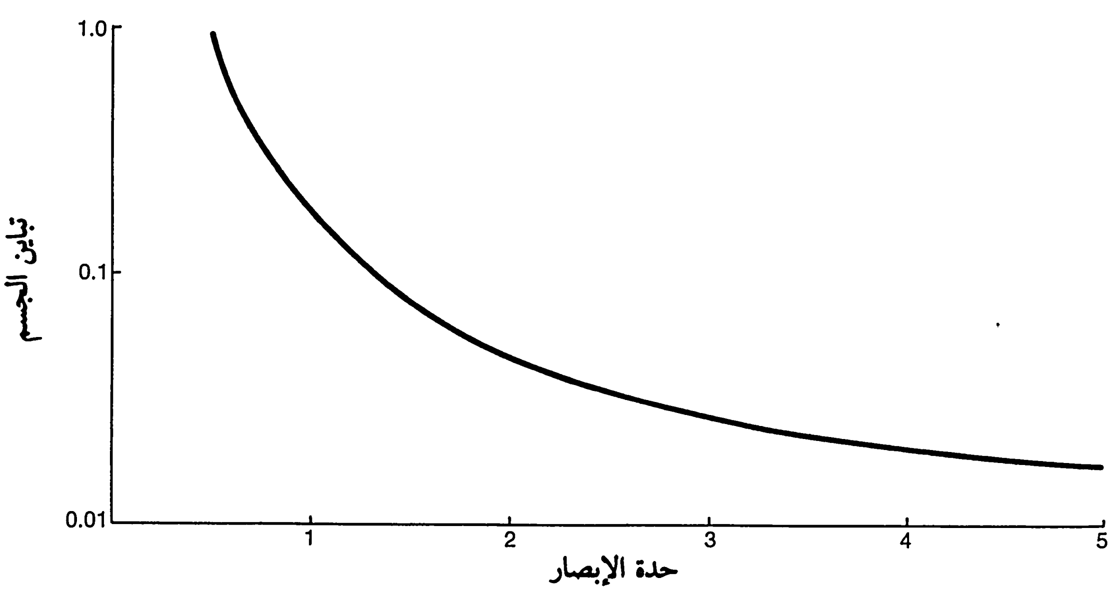
إن حدة الإبصار للعين هو قياس لقابليتها على رؤية تفاصيل المشهد وهو شبيه للمصطلح « التحليل » الذي يستعمل لتحديد أداء حد العتبة الحيزي للآلة البصرية . ويعرف علىٰ أنه مقلوب أدنىٰ زاوية مقابلة في العين بواسطة تفاصيل الجسم المُحلل . وقد تكون أجسام الإختبار القياسية خطاً منفرداً أو مجموعة من القضبان البيضاء والسوداء ذات فجوات متناقصة ، ولكن الأشكال والحروف الأخرىٰ قد استخدمت بشكل شائع في الاختبارات السريرية . إن أدنىٰ زاوية يتم من خلالها تحليل الجسم ، أي عرض خط التحديد في قضيب منفرد أو خطين متجاورين في شكل قضيب ، تدعىٰ زاوية الإبصار . وتقاس زاوية الإبصار عادة بدقائق من القوس . لذلك فإن حدة الإبصار لها وحدات عكس الدقائق ، أو عدد الدورات بالدقيقة عندما يشار فقط إلىٰ تردد الخط المُحلل لشكل القضيب . ويبين الشكل (٢ ـ ٦) تغير حدة الإبصار مع مستوىٰ النصوع أو اللمعان في المشهد .

ويتضح من الشكل (٢ ـ ٦) أن حدة الإبصار تزداد مع مستوىٰ النصوع إبتداءً من (٠,٠٢) (دقيقة)$^{-1}$ لحدة الإبصار حد العتبة للإبصار إلىٰ أقصىٰ قدرة للتفريق ١,٧ (دقيقية)$^{-1}$ من حدة الإبصار عند مستوىٰ نصوع ٣ × ١٠^{3} شمعة م$^{-2}$. أما زاويتا الإبصار المصاحبتان فهما (٥٠) دقيقة و(٠,٦) دقيقة اللتان تقابلان أدنىٰ حجم للجسم المدرك وهما ١٥ متراً و ٠,١٥ متراً على التوالي عند مدىٰ ١ كم . وما دام هناك ضوء يُرىٰ ، فإن بعضاً من الرؤية سوف



شكل (٢ ـ ٦) اختلاف حدة العين وقطر البؤبؤ

يبقىٰ وحتىٰ في الليالي غير المقمرة ؛ فمن الممكن تمييز السماء من الأرض رغم أن حـدة الإبصار منخفضـة جداً . إن حـدة الإبصار للعين الـطبيعية في الاختبارات السريرية تساوي ١ (دقيقة)⁻¹ عند مستوىٰ إضاءة وتباين معينين .



شكل (٢ ـ ٧) اختلاف حدة الإبصار مع تباين الجسم

ويوضح الشكل (٢ ـ ٧) تغير حدة الإبصار مع التباين في مجال الجسم .

والعامل المهم الآخر هو تأثيرات الحيود والتي تظهر بسبب الحجم المحدود لبؤبؤ العين ، وتسود هذه التأثيرات علىٰ حالات السطوع عندما يكون البؤبؤ أصغر . وكما هو الحال مع أي كاشف بصري ، فإن كثافة المستقبل الضوئي علىٰ الشبكية سوف يسيطر علىٰ قدرة التفريق القصوىٰ . وإذا كانت الفجوة بين زوج من الصور يمكن تحسسها ، فإن جهاز الاستقبال يجب أن يكون حاضراً في الحيز المتدخِّل intervening Space . وحيث أن تأثيرات الحيود تؤدي إلىٰ نشر حافات الصورة ، فإن الفاصلة قد لا تكون مقطوعة بوضوح مما ينتج منطقة رمادية بين الصورتين مما يجعل الشبكية تحللها ، أو لا تحللها ، كفاصلة .

إن معيار Rayleigh لتعريف « قدرة التفريق » (التحليل) يمكن تطبيقه علىٰ العين .

فبالنسبة للعين المكيفة للظلمة ، فإن البؤبؤ يتوسع بشكل كامل ويظهر عدم تركيز بؤري (عدم ضبط الصورة) من الزيغ اللوني والزيغ الكروي مما

يؤدي إلىٰ انخفاض في حدة الإبصار . أما أمثل حدة للإبصار فتظهر عندما يكون قطر البؤبؤ حوالي (٢,٥) ملم .

وتتغير حدة الإبصار علىٰ الشبكية ، ويكون التغير أعـظم في حالات ، ضوء النهار في المنطقة المركزية وبالأخص اللطخة الصفراء حيث تجمع بإحكام المستقبلات الضوئية المخروطية . وبمقدار (٤٠) درجة على كل جانب ؛ فإن حدة الإبصار تهبط إلىٰ ٥٪ من قيمة اللطخة الصفراء ، وبالتالي فإن التفاصيل الصغيرة في مجال الرؤية الخارجية يجب أن تكون (٢٠) مرة أكبر لكي تراها العين بنفس الوضوح .

وفي الإضاءة المنخفضة يتم فتح الحدقة بشكل أوسع وتصبح العصيبات هي المهيمنة ، وتصبح العين في حالة عمى ألوان وتصبح اللطخة الصفراء نقطة عمياء لأن المخاريط تفتقر إلىٰ الحساسية للاستجابة .

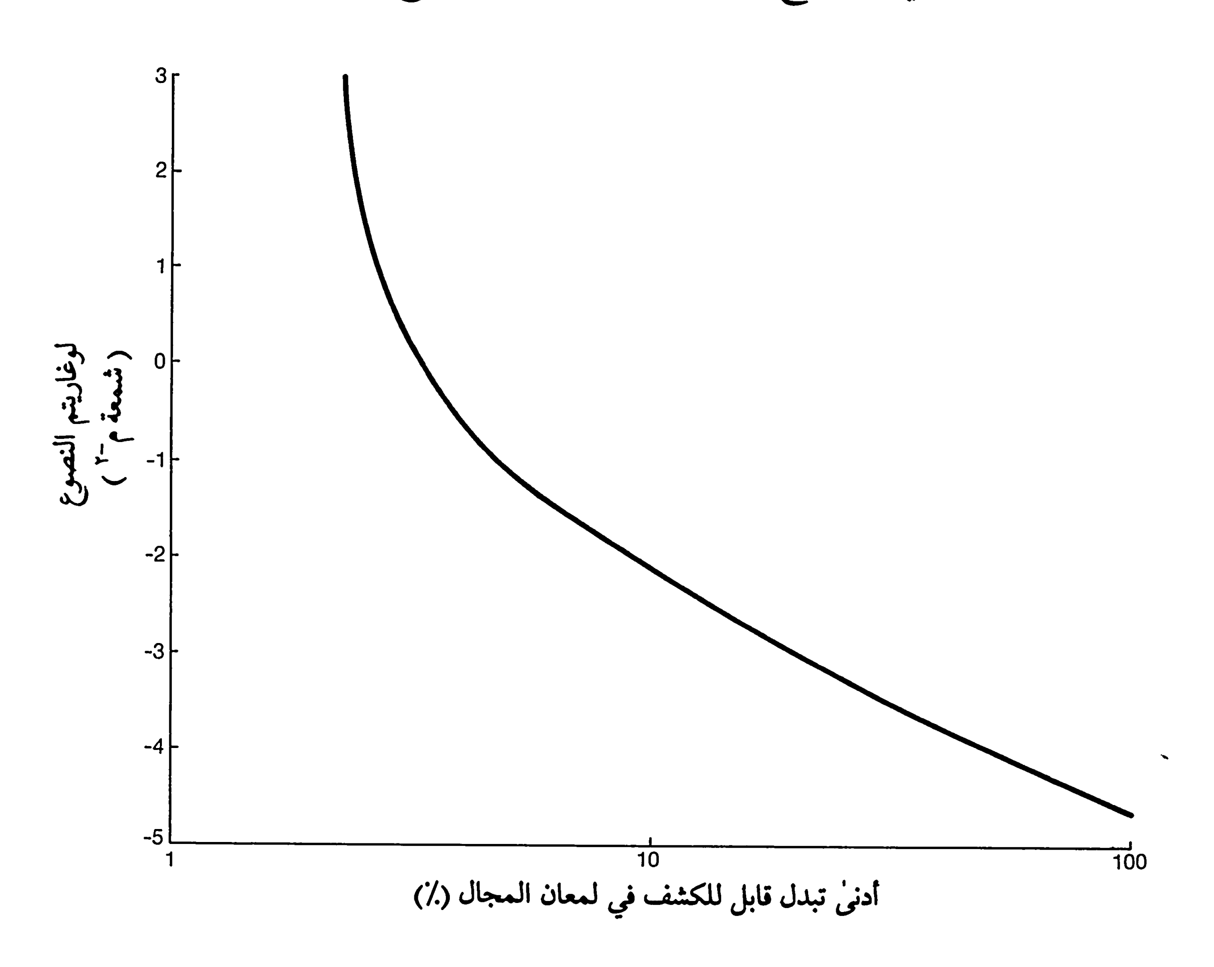
ط . معيار حدة البصر :

هي قـابلية العين في أن تـرصف align جسمين مثل خَـطين أو أسلاك متقاطعة . وللعين القابلية على أداء هذه العملية وبقـوس مقداره (٥) ثـوانٍ . وبالتالي فإن معيار حدتها يكون أفضل في المقدار من حدة إبصارها . ويكون معيار حدة البصر أفضلِ عند وضع خط واحد بين اثنين قريبين من بعضهما ثم يتبع ذلك وضع خط علىٰ أسلاك متقاطعة أو رصف طرفي خطين ، ولكنها أقل فعالية عند وضع خط فوق آخر . وقد أُخذت هذه الخواص بالحسبان في تصميم أجهزة إيجاد المدىٰ وعلامات التسديد المتزامنة .

إن أضيق خط أسود علىٰ خلفية بيضاء تستطيع العين كشفه هـو حوالي ١ ثانية من القوس . وتستطيع العين كشف الحركة بدقة تصل إلىٰ (١٠) ثانية من القوس ، وقابلية الكشف لأبطأ حركة هي حـوالي (١) دقيقة من القـوس لكل ثانية ، وقابلية الكشف لأسرع حركة هي حوالي (٢٠٠) درجة لكل ثانية .

ي . تباين الضوء :

إن العين عبارة عن جهاز فوتومتر(مقياس قوة الإضاءة) ضعيف في تحديد المستوىٰ المطلق لِلّمعان أو درجات اللون . ويشير الشكل (٢ ـ ٨) إلىٰ أدنىٰ فرق لِلّمعان الذي تستطيع العين كشفه بدلالة النصوع لمنطقة الاختبار .



شكل (٢ ـ ٨) قابلية التباين الضوئي للعين

ك . الرؤية المجسمة والصور المُظَلِلَة للبصر :

الـرؤية المجسمـة أو الرؤيـة بالعينين هي إظهـار للتفـاعـل بين العينين والدماغ . وهو إدراك متطور ينبع من تقارب وضبط العضلة الهدبية ، علاوةً علىٰ الرسم المنظوري البيئي المكتسب . وليس هناك تفسير فسيولوجي (وظائفي) عصبي للرؤية المجسمة وأن تحقيق الرؤية الأحادية قد تكون نتيجة الإندمـاج

الفسيولوجي في القشرة المخية لأزواج الصور النابعة من المناطق المتماثلة لكل شبكية . ويرتبط الجانبان الأيمن والأيسر لكل شبكية مع بعضها البعض عبر مسالك بصرية والتي تبقى منفصلة لحين وصولها القشرة المخية حيث يظهر الإندماج الثلاثي الأبعاد . وتعتبر هذه العملية شرطاً أساسياً للرؤية الجيدة بالعينين ، وهي الأساس في تصميم النواظير الموشورية .

وفي الرؤية أحادية العين ، فإن تقدير المسافة والأجسام البارزة ، يكون ناقصاً جداً . أما في الرؤية ثنائية العينين ، فإن تقدير العمق يجب ألا يكون غامضاً ولكن الصور المظللة للبصر تظهر بوضوح بواسطة ما يعرف بالأمثلة الهندسية لمعكوس العمق ، مثل مكعب Neckers .

وهناك أمثلة أخرىٰ لها أهمية عسكرية واضحة . فنقطة ضوء منفردة ثابتة تجاه خلفية داكنة تبدو لتتحرك بشكل عشوائي : حركة العيون وتَجَنُّب الثبوت المستمر ، أو استخدام أضواء وامضة كما في الطائرة ، إنما يساعد في تدمير هذه الظاهرة التي تسمىٰ تظليل الحركة الطوعية .

ويتسبب تضليل الحركة الدورانية العينية نتيجة التعجيل الدوار . في هذه الحالة ، فإن نقطة ضوء مقابل خلفية داكنة ستبدو في حالة حركة في اتجاه الدوران في وقت حدوث التعجيل ، ولكن الحركة ستتوقف عند بلوغ السرعة الثابتة . وعند التعجيل فإن نقطة الضوء ستظهر لتتحرك في الإتجاه المعاكس .

وينتج تضليل الجاذبية العينية كذلك بواسطة التعاجيل الخطية ، وعلىٰ شاكلة التضليل الناتج من الحركة الدورانية العينية ، فإنه يتسبب بواسطة تحفيز الأعضاء الحسية في جهاز السمع والتي تكون مسؤولة عن المزاج والسيطرة . ويمكن أن تسبب هذه الظاهرة أوهاماً في قراءة التدريجات المضاءة في الطائرة ، وإذا تجاوز الطيار في تعجيله حد الهدف أثناء محاولته الهبوط ، فإنها يمكن أن تعطيه انطباعاً أن مقدمة الطائرة مرفوعة ، والذي يؤكد هذا الانطباع ، بشكل زائف ، الأفق الاصطناعي عندما تكون الطائرة في الحقيقة لا تزال في حالة هبوط .

وتبرز ظاهرة التظليل البصري مرة أخرىٰ بالنسبة للضوء الوامض . وهناك تردد حرج ينقطع عنده الإحساس بالتلألؤ Flicker وليبدو الضوء وكأنه مستمر . ويدعىٰ هذا بتردد الإندماج الحرج ويتغير مع شدة الضوء وحجم الجسم . وعادة يظهر هذا التردد بين (٢٠) و (٥٠) لكل ثانية وهو الأساس في منظومات المبينات مثل التلفزيون . والتلألؤ يستدعي استجابات في اللحاء ويمكن أن يسبب القلق أو الدوار ، منتجاً شكلاً من أشكال الصرع للناس المتأثرة به .

وعندما يكون هناك ضوءان ساكنان أو أكثر قريبان من بعضهما ، ويتم انبعاثهما مع وجود تأخير زمني بينهما ، فإنه يمكن ملاحظتهما كضوء متحرك ، وهو المبدأ الذي يستخدم في بعض المبينات .

م . زمن البحث البصري :

يعتمد زمن بحث مبين صوري ثابت علىٰ زمن ثبات العين والذي يساوي تقريباً (٣,٠) ثانية ، وعلىٰ الحجم الزاوي للمبين . ويؤخذ المجال الدائري للرؤية الواضحة على أساس (١٠) درجات بحيث يحسب زمن البحث بواسطة تحديد عدد عدم التراكب لـ (١٠) درجات مطلوبة من التثبيتات لتغطية المجال . وهكذا فإن تغطية مشهد (صورة) بأبعاد ١٦ درجة × ١٢ درجة سيتطلب زمن بحث حوالي ثانية واحدة . وقد تبرز الحاجة إلىٰ الأزمان الطويلة في حالات التباين المنخفض .

وفي حالة البحث عن العرض المتحرك فعلىٰ العين أن تقفز هنا وهناك لكي ترىٰ كل التفاصيل علىٰ نحو ملائم في مجال اللطخة الصفراء Joveal ، ولكن الأجسام غير المطلوبة غالباً ما تحجب الأجسام المطلوبة . وعلىٰ العيون أن تتحرك بشكل مضبوط بنفس معدل حركة المبين (الصورة) وإلا فإن صورة الجسم تنتقل علىٰ طول الشبكية ، وتجعل الصورة ضبابيـة وتجعلَ التفـاصيل الدقيقة صعبة الرؤية ، وتزداد الصعوبات كلمـا تحرك المبين بشكـل أسرع . وعلى الرغم من أن الراصدين يعملون بشكل جيد في السرع البطيئة للمبين ، إلا أن عملهم هذا ينخفض في أدائه في السرع العالية .

مثل هذه التأثيرات تكون مهمة في آلمبينات التلفزيونية وأن حـلاً وسطاً يمكن التوصل إليه بين المعلومات المتضمنة كل ما له صلة بالموضـوع وبين معدل المسح لواجهة الصمام . ومن الناحية المثالية فإن المنـظومة يجب أن تعطي المعلومات عند الحاجة إليها فقط .

٣ ـ تصميم الآلة البصرية :

أ . مقدمة :

تمتلك العين مدىٰ استجابة ديناميكي غير عادي بحدود $١٠^{١٢}$:١ والتي هي أكبر بكثير من أي جهاز حساس للضوء الأحادي . ومع ذلك فإن القابلية علىٰ الرؤية للتفاصيل في مشهد ما تصبح أسوأ كلما تناقصت النصاعة إلىٰ الحد الذي يمكن فيه إدراك الأجسام الكبيرة ولكن دون تمييزها بـوضوح . وبسبب انخفاض حساسية العين المكيفة للظلمة ، فإن الرؤية المحيطية ، بـاستخُدام العصيبـات ، تكون أكثـر فعاليـة من رؤية اللطخـة الصفراء ، التي تستخـدم المخاريط ، تحت ظروف الإضاءة المنخفضة ، وهذا له تأثير مهم علىٰ الإدراك الحسي المرئي في عمليات المراقبة الليلية .

إن الغرض من الآلة البصرية هو تحسين أداء العين لجعل التسديد أكثر دقة ولتحسين الإدراك الحسي لتفاصيل المشهـد المرصـود وخاصـة تحت ظروف الإضاءة المنخفضة . إن بعض التكبير للجسم يجعل الأهداف أكثر سهولة في التعرف عليها ، ولكن بالمقابـل يتقلص مجال الـرؤية بنفس النسبـة ، وتزداد أخطاء التصويب ، وإذا زاد التكبير عن حد الحيود ، فليس بالإمكان توفير تعزيز إضافي إلى تفاصيل المشهد . وفي الحقيقة فإن نظارة التسديد ذات قدرة قيمتها واحد لها ميزات علىٰ العين المجردة unaided eye في أنها تضع علامة التسديد بالضبط علىٰ سطح الصورة ، وبذلك ألغت ضرورة المحاولة لتصويب الشُعيرة علىٰ هدف بعيد من خلال فتحة المسددة الخلفية .

وفي تصميم أية آلة بصرية يجب أن يؤخذ التكبير بنظر الاعتبار مع كافة

العوامل الأخرىٰ التي يتوقف بعضها على البعض الآخر والتي غالباً ما تؤدي إلى حل وسط . وعموماً تستخدم التكبيرات المنخفضة نسبياً ومجالات الرؤية الكبيرة ، في آلات المراقبة مثل النواظير في حين أن التكبيرات العالية نسبياً ومجالات الرؤية الصغيرة تكون ضرورية في تحصيل الهدف .

ب . المتطلبات المثالية للتكبير :

إن قطر العدسة الشيئية في منظومة بصرية يمكن جعله أكبر بكثير من بؤبؤ العين ، وهذا ينتج قدرة تجميعية أكبر للضوء ويحسن من قدرة التفريق . وفي العلاقة التالية تُعطىٰ الزاوية المحدِّدة لقدرة التفريق (التحليل) بواسطة معيار Rayleigh :

$$\propto = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

حيث $\propto$ هي أدنىٰ زاوية مقابلة إلىٰ الآلة عبر جسمين نقطويين لتمييزهما كجسمين منفصلين ومساويين لزاوية الإبصار لحالة خاصة للعين ؛

D هي قطر العدسة الشيئية .

λ الطول الموجي للضوء .

وعندما D = ٥٠ ملم .

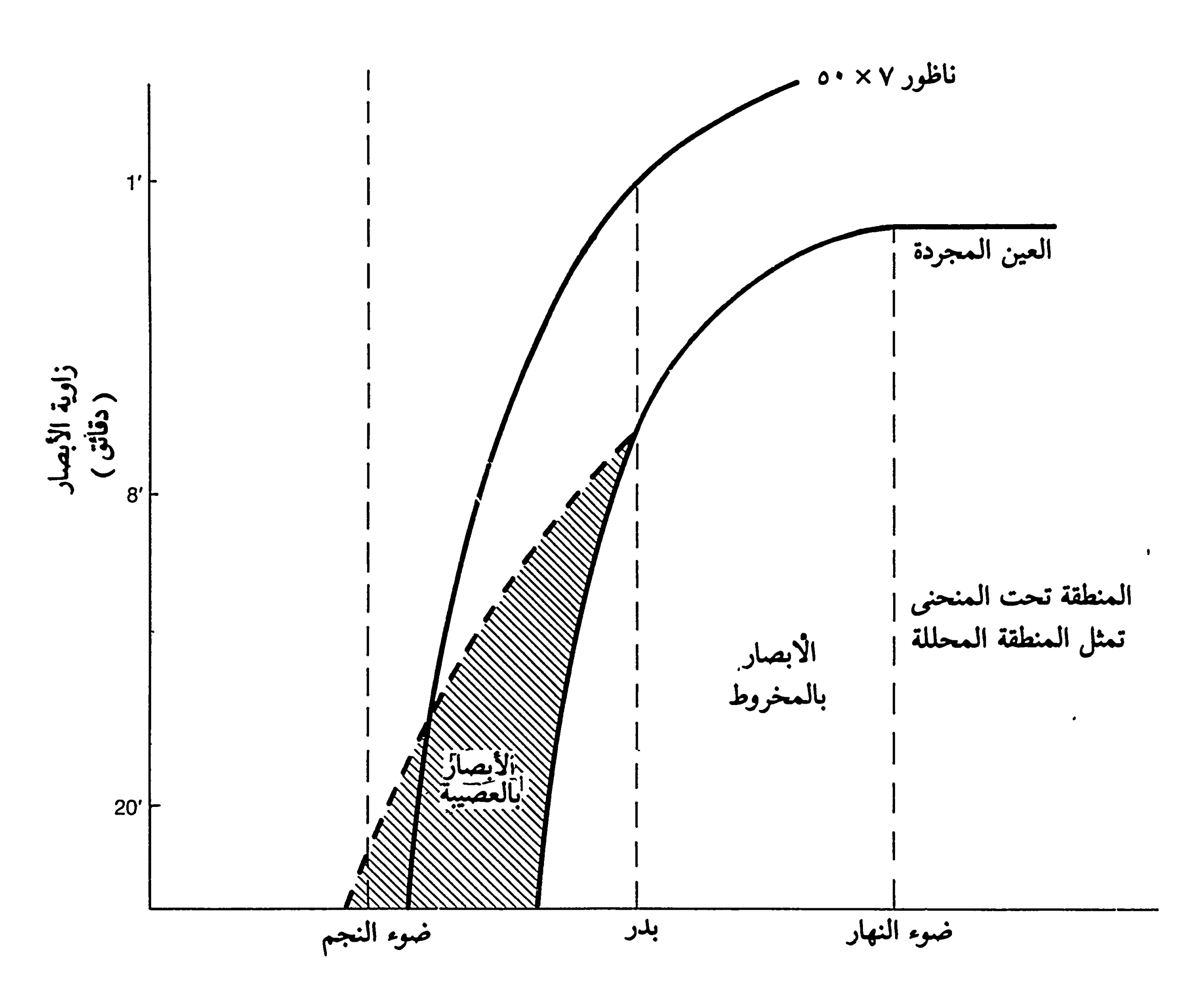
Δ = ٠,٥٥ مايكرمتر .

فإن $\propto$ = ١,٣٦ × ١٠^−٢^ متراً . زاوية نصف قطرية mrad .

= ٥ × ١٠^−٢^ دقيقة min .

وهذا يساوي تقريباً $\frac{١}{٢٠}$ من زاوية الإبصار للعين تحت إضاءة ضوء النهار ولأجل الاستخدام التام لأفضل قدرة للتفريق فإن أمثل تكبير للمنظومة يجب أن يكون (٢٠) . ويؤدي التكبير القليل إلى فقدان قدرة التفريق resoluation في حين أن التكبير الكثير يؤدي إلى تكبير الأجزاء الرديئة من الجسم ويقلل علاوة على ذلك لمعان الصورة .

ومن المستحيل مضاهاة قدرة التفريق للعين في حالات الإضاءة المنخفضة لأن هذا سيتطلب فتحات وتكبيرات ضخمة وفي الآلات البصرية العملية العسكرية فإنها لا تعمل مطلقاً في نهاية حيودها في الليل . ويبين الشكل (٢ ـ ٩) التأثير علىٰ حدة الإبصار للناظور الليلي (٧ × ٥٠) .



شكل (٢ ـ ٩) تحسين أداء العين في مستويات الضوء المنخفضة

إن قطر العدسة الشيئية أكبر بكثير من بؤبؤ العين المكيفة للظلمة ، ولهذا السبب فإنها تجمع ضوءاً أكثر من المشهد (الصورة) . وهذا ينتج صورة مكبرة علىٰ الشبكية حيث تزيح منحني حدة الإبصار باتجاه القيم الدُّونية لزاوية الإبصار (∝) وبمقدار يساوي تقريباً قيمة التكبير . ويعمل الناظور (٧ × ٥٠) علىٰ زيادة

حدة الإبصار الفعالة للعين بمقدار يساوي تقريباً(٧) ، وتحسين قـدرة تجميع الضوء بمقدار (٥٠) للحفاظ علىٰ نفس لمعان الصورة . وتعمل هذه الآلة علىٰ توسيع مدىٰ المراقبة العسكرية نزولاً إلىٰ مستويات ضوئية مقاربة إلىٰ $\frac{1}{4}$ ضوء القمر . وتؤدي رجفة اليد إلىٰ تقليل التفصيل المرئي في الصورة بالمقارنة مع التفصيل الذي يمكن إدراكه بواسطة الناظور (X 4) وعملياً ، فـإن النواظيـر المحمولة بـاليد ذوات التكبيـر الأكثر من (X 10) أصبحت صعبـة الاستخدام بكفاءة .

وكما رأينا فإن رؤية الهدف تتأثر أيضاً بنصوع المجال وبالتباين بين الهدف وخلفيته ، وتعقد المشهد . والأجسام الممدودة مثل سبطانة المدفع أو هوائي سوطي المرئية تجاه السماء ، أو الخلفيَّة المضاءة بشكل جيد قد يتم تحليلها حتىٰ عندما يكون سُمك الهدف الممدود يقابل زاوية أصغر بكثير من الزاويـة المحددة بحد الحيود . من ناحية أخرىٰ ، فإن الجسم في مجال رؤية معقد قد يقابل زاوية ذات مقدار أكبر من قابلية التفريق الزاوي لحد الحيود قبل أن يتحلل في حدّ ذاته .

جـ . عمق المجال البصري :

لتأثيرات الحيود علىٰ المنظومات البصرية نتيجة أخرىٰ على أدائها ، أي عمق المجال البصري .

لنتصور مصدر نقطي كقرص حيود بنصف قطر r بحيث :

$$r = 1.22 \frac{\lambda f}{D}$$

حيث f هي البعد البؤري للعدسة الشيئية ذات قطر D .

و λ هي الطول الموجي للضوء .

ويُحدث تراكب أقراص الحيود على الصور الناتجة من الأجسام المختلفة عمقاً بؤرياً للصورة التي تسمح للأجسام أن تمتد عند مديات أي من الجهتين لمدىٰ التركيز البؤري الأمثل لأخذها بنظر الاعتبار كبؤرة معتدلة في مستوىٰ

الصورة . والحدود في المدىٰ التي تكون عندها الأجسام مقبولة في البؤرة هي ما يعرف بعمق المجال . وحيث أن التأثير يعتمد علىٰ الحيود فيلزم أن يكون عمق البؤرة أطول للقيم الدونية لقطر العدسة الشيئية D عندما تكون تأثيرات الحيود أكثر وضوحاً . وعلى وجه التحديد ، وحيث أن عمق المجال يعتمد علىٰ قيمة (r) ، الذي يمكن كتابته على النحو التالي :

$$\mathbf{r = Constant \times \frac{f}{D}}$$

فإنه يمكن الحصول علىٰ أكبر قيمة لعمق المجال من طريق قيم كبيرة لـ $\frac{f}{D}$ ، أو الرقم البؤري[1] ، عدد ـ التوقف ، أو فتحة نسبية للمنظومة لتسمية ثلاثة أشكال بديلة لهذه النسبة . وعملياً يتم تعيين العدسة عادة بواسطة الرقم البؤري الخاص بها وهي F8, F4 الخ طبقاً للنسبة :

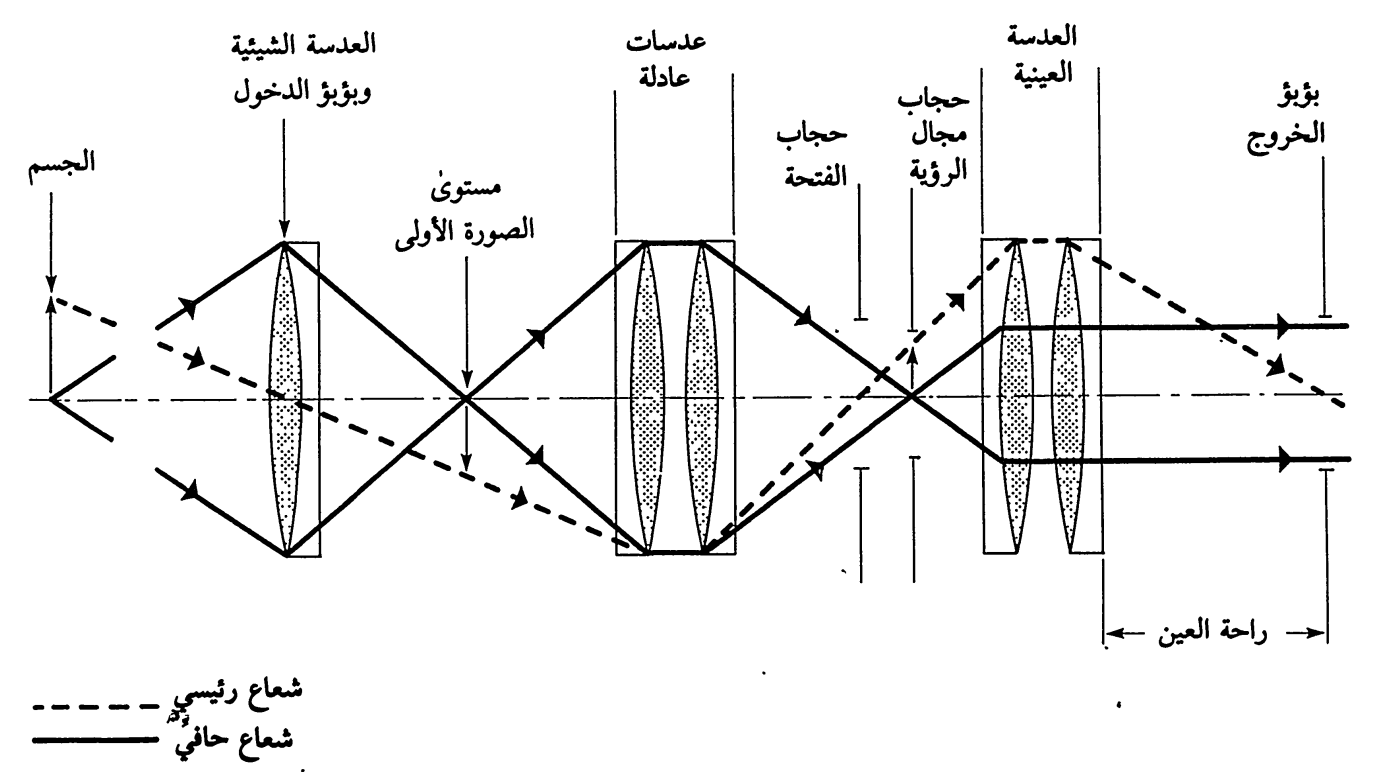
$$\frac{f}{D} = 8 \text{ و } \frac{f}{D} = 4$$

علىٰ التوالي . ويكون عمق البؤرة أوسع عند F8 منه عند F4 ولكن هذا يتم علىٰ حساب مجال الرؤية . من هنا فإن الوصول إلىٰ تسوية تكون ضرورية لموازنة المتطلبات المتضاربة للمراقبة وتعريف الهدف . ولأن تعريف الهدف يتطلب تفاصيل دقيقة وقدرة تفريق عالية ، فكيون من الضروري وجود فتحة عدسة كبيرة . وهذا يحدد من عمق المجال ويزيد من مدىٰ البؤرة الأقرب . من ناحية أخرىٰ تتطلب المراقبة مجال رؤية أكبر وتكبيراً منخفضاً نسبياً .

وفي منظومات الرؤية الليلية التي تستخدم بعداً بؤرياً ثابتاً ، فإن الترديز البؤري للمسافة الطويلة يكون غير مرغوب به بسبب تحدُّد ضوضاء الفوتون . ويتم تنظيم البؤرة بشكل متكرر لكي تتعامل مع المديات القصيرة إلا أن هذا يزيد من تعقد وكلفة المعدات .

د . بارامترات (القيم المتغيرة) المنظومة البصرية :

يعرض الشكل (٢ ـ ١٠) المعالم الرئيسية للمنظومة البصرية . وحجاب الفتحة هو عامل التحديد الذي يعين كمية الضوء الآتي من الجسم والمرسل



شكل (٢ ـ ١٠) البارمترات الرئيسية للمنظومة البصرية

خلال المنظومة . إن بؤبؤ الدخول وبؤبؤ الخروج للمنظومة هما صورتا حجاب الفتحة المشكّلة من كل العناصر في الجسم وحيز الصورة علىٰ التوالي . وهكذا يقع بؤبؤ الدخول ضمن العدسة الشيئية ، الذي يسيطر على كمية الضوء المجتمعة وقدرة التفريق ، كما ويقع بؤبؤ الخروج في المستوىٰ الذي عنده تتقاطع الأشعة الرئيسية مع المحور إلىٰ اليمين من عدسة العين . وتدعىٰ المسافة ، من سطح العدسة العينية قرب العين إلىٰ محور البؤبؤ ، راحة العين . وللحصول على أقصىٰ حساسية توضع العين عند البؤبؤ الخارجي والذي يفترض أن يكون بحجم بؤبؤ العين .

ويحدد حجاب مجال الرؤية ، مجال الرؤية حيث يمنع هذا الحجاب الحاجز الأشعة الرئيسية بالبدء من نقطة علىٰ الجسم البعيد عن المحور ، من المرور خلال المنظومة . وتستخدم الأنواع الأخرىٰ من الحجابات مثل حجاب السطوع لحذف الضوء الشارد والحواجز لإزالة التبعثر المتعدد ضمن المنظومة .

إن أهمية هذه البارامترات البصرية ستصبح واضحة في المقطع الذي يتعامل مع آلات المراقبة العسكرية .

٤ ـ تقييم المنظومة:

أ . تحليل شكل الشعاع :

كما ذكر في مناقشة حدة الإبصار في العين ، فإن تعيين قدرة التفريق المحددة يتحقق عادة بتمثيل الراصد بمخطط بياني خطي يتضمن سلسلة من خطوط بيضاء وسوداء متناوبة يكون فيها عرض الخطوط السوداء مساوياً لعرض الخطوط البيضاء ، وبشكل تدريجي يتم جعل عرض الخط والفجوة أصغر إلى أن يصل إلى الحد الذي عنده يصبح الراصد غير قادر على تحليل زوج من الخطوط المتجاورة كخطوط منفصلة . ويُعبر عن حد الخد بعدد أزواج الخط لكل (ملم) أو عدد الدورات لكل (ملم) ويمثل التردد الفضائي الذي عنده تكون عين الراصد غير قادرة على تمييز اختلافات الانتقال من الضوء إلى الظلمة في صورة الخط ban . وبالضبط تطبق نفس الاعتبارات عند استخدام الآلة البصرية .

إن القابلية على إدراك الأهداف العسكرية المنفردة يمكن التعبير عنها كدالة لقدرة التفريق المحددة لكل أدنى بعد للهدف. والاختبارات الخاصة بتمييز دبابة المعركة الرئيسية ذات الأبعاد الدنيا (٣,٢) متر ، بينت أن ٥٠٪ من الاحتمالية تكون صحيحة :

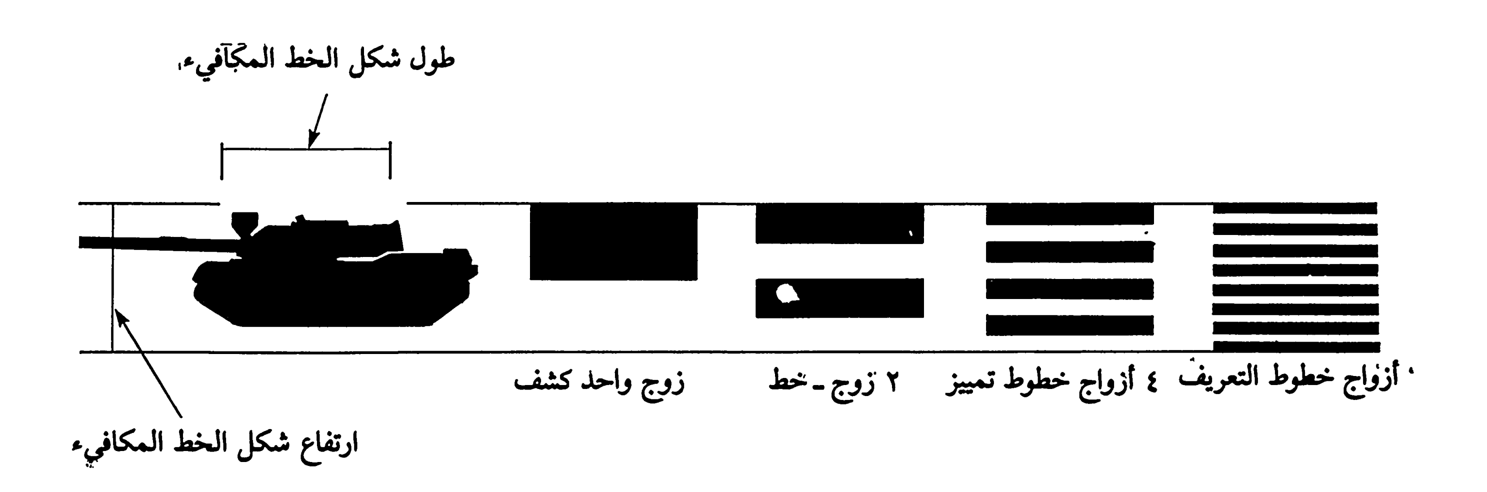
أولاً : لكشف هدف يتطلب (١ ∓ ٢٥,٠) من أزواج الخطوط لكل أدنى بعد للهدف أو بمعدل خطين .

ثانياً : ولتوجيه الهدف يتطلب (١,٤ ± ٣٥,٠) من أزواج الخطوط لكل أدنى بعد للهدف ، أو بمعدل (٢,٨) خط .

ثالثاً : لتمييز نوع الهدف يتطلب (٤ ± ٨,٠) من أزواج الخطوط لكل أدنى بعد للهدف أو بمعدل (٨) خطوط .

رابعاً : للتعرف علىٰ الهدف يتطلب (٤,٦ ± ١,٥) من أزواج الخطوط لكل أدنىٰ بعد للهدف ، أو بمعدل (١٢,٨) خط .

ويوضح الشكل (٢ ـ ١١) الفكرة .



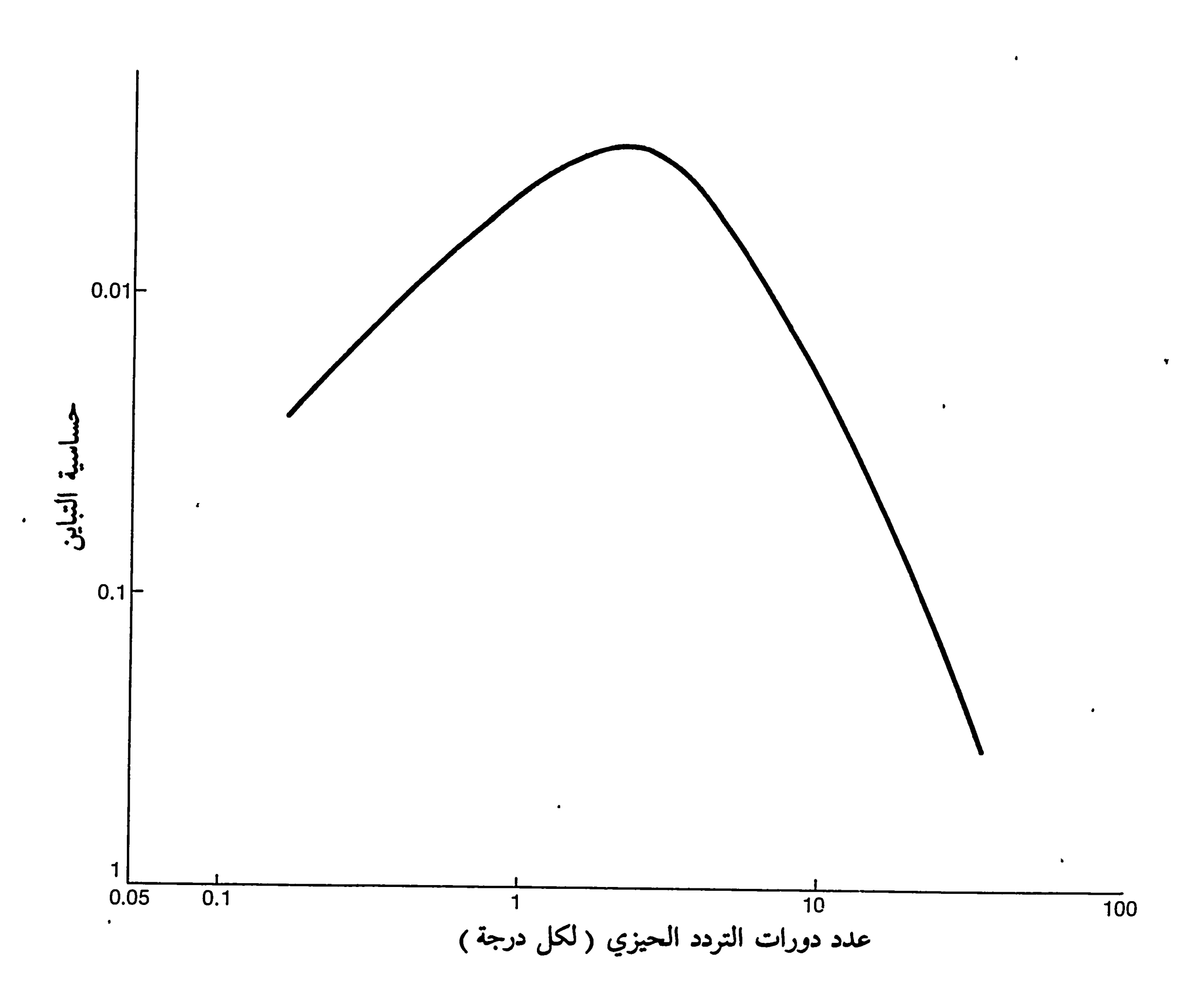
شكل (٢ ـ ١١) معيار تحليل شكل الخط

وهناك معيار إضافي لتحديد الكشف وتمييزه ببعدين . ويمكن تحليل المَشاهِد بدلالة النقاط البيضاء والسوداء ، وعدد هذه النقاط هو الذي يعرِّف جودة الصورة . فمثلاً ، صورة سيارة لاندروڤر في مبين الصورة ذات نسبة باعية (٤ × ٣) تتطلب (٥٠٠) نقطة صورية لأغراض الكشف ، و(١٣٠٠) نقطة صورية لتمييز الشكل والتوجيه ، و(٥٠٠٠) نقطة صورية لتمييز الهدف . والتفاصيل التي تتجاوز (٢٠ , ٠٠٠) نقطة نادراً ما تكون مطلوبة ، علىٰ الأقل في ظروف ساحة المعركة .

ب . دالة التحويل البصرية . . (OTF) :

هذه الأفكار البسيطة لتحويل هوية الشكل وتمييزه قد امتدت إلىٰ تقييم نوعي لأداء المنظومة البصرية والألكتروبصرية بطريقة مشابهة لطريقة تقييم أداء المضخم الإلكتروني . إن الدخل input إلىٰ المعدات البصرية هو مخطط بياني شريطي ذو تباين مختلف وتردد حيزي ، ويتم تخمين الخرج output

بدلالة التباين والتردد الحيزي . وتعرف نسبة الخرج إلى الدخل بـ دالة التحويل البصرية OTF وهي تساعد في تأشير أداء المنظومة كدالة للتردد . وفي حالة دالة التحويل البصرية للعين ، فإن حساسية التباين تصل إلىٰ درجتها القصوىٰ في دورتين لكل درجة وتهبط في الترددات الواطئة بسبب ارتجاف العين ، وفي الترددات العالية نتيجة للزيغ والحيود والحجم الدقيق لجهاز الاستقبال (انظر الشكل ٢ ـ ١٢) .



شكل (٢ ـ ١٢) دالة التحويل البصرية لعين الإنسان

٥ ـ آلات المراقبة والتسديد العسكرية :

أ . المسددة البسيطة (مسددة م/ط) :

وهي أقدم شكل من أشكال التسديد ، حيث توضع مهدفة التصويب عند الفوهة وتوضع المسددة الخلفية (الفُرضة) قريبة إلىٰ العين . ويتم تشكيل المسددة الخلفية علىٰ هيئة حرف u أو V أو حلقي ، وتكون مهدفة التصويب عادة إسفينية الشكل ، ولكن يمكن أن تكون دائرية .

ورغم أن مهدفة التصويب غالباً ما تضاء بضوء بيتا Beta ، فإن المسددة البسيطة من الصعب استخدامها في مستويات الإضاءة المنخفضة ، وهي نسبياً بطيئة لأن راحة العين قليلة وليس من السهولة متابعة الهدف بدون فقدان دقة التصويب .

وتأريخياً صممت المدافع لتحمي إلى أدنىٰ حد الرؤوس النارية المعرضة لخطر النيران المضادة ، وأيضاً لوضع المسددة قريباً إلىٰ مسار الطلقة . والترتيب الحاصل ينتج ارتداداً علوياً عند الرمي وينشأ تعجيل جانبي كبير في السلاح والذي يمكن أن يسبب أخطاء تصويبية كبيرة .

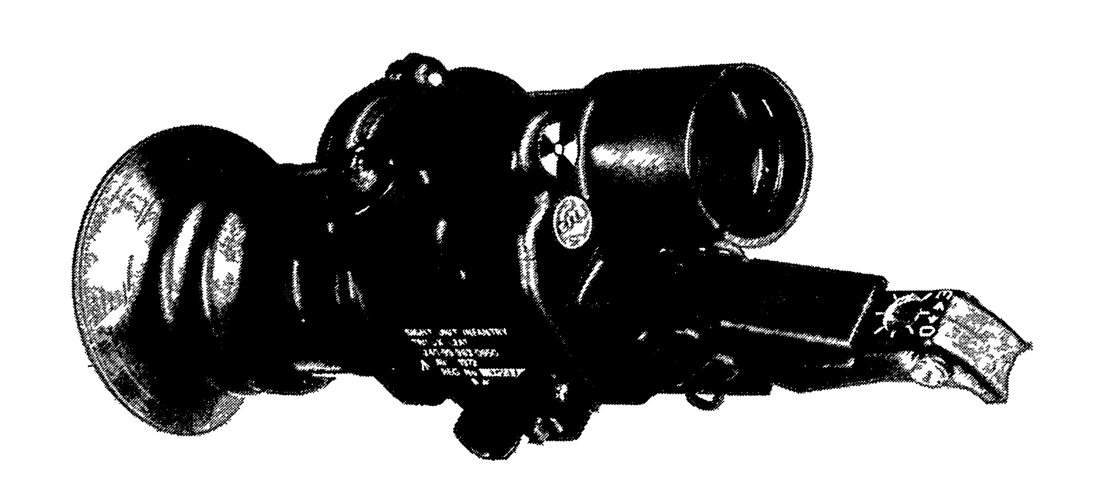
والمدافع المباشرة الحديثة مثل EM2 و M16 تم تطويرها بحيث تبقىٰ السبطانة بمحاذاة الكتف ولكي تقلل بشكل كبير قفزة السلاح . وينتج خط التسديد العالي مهدفة تصويب معقدة إلى حدٍ ما . وبالتالي فإن الحاجة إلىٰ دقة وحماية كبيرتين تنتج ترتيباً غير ملائم نوعاً ما ويتطلب تدريباً مهماً لغرض استخدامها بشكل مناسب .

والمسددات الليلية البسيطة هي قيد الخدمة في الجيش البريطاني وحلف الناتو . وقد صممت لتساعد علىٰ التصويب الدقيق على الأهداف الصعبة التعريف في مستويات الإضاءة المنخفضة والرؤية الضعيفة . وهناك عدة تكيُّفات ولكنها جميعاً تعمل على مبدأ إضاءة المسددة الحديدية . ومصدر الضوء التريتيوم tritium لا يحتاج إلىٰ مجهزّ قدرة وله عمر تشغيلي (١٠) سنوات علىٰ الأقل .

ب . المسددة المرقبية :

إن المسددات المحسنة هي عبارة عن تكيف للتلسكوب البصري التقليدي مع وجود مقياس العينية ، يمكن إضاءته ، بالإضافة إلى وجود بعض التكبير لكي تستخدمه العين بالشكل الأمثل . ويصمم البؤبؤ الخارجي ليلائم العين المكيفة للظلمة وبذلك يتم تحسين الأداء في الضوء المنخفض . ويتم اختيار راحة عين مناسبة لحماية عين الرامي من أذىٰ الإرتداد .

ويوضح الشكل (٢ ـ ١٣) العناصر الأساسية لمسددة الأسلحة الصغيرة . ولهذه المسددة قوة تكبير حوالي (× 3) وهي تكييف لتصميم التلسكوب الأرضي الأساسي .



شكل (٢ ـ ١٣) مسددة أسلحة صغيرة

إن حجاب الفتحة في هذا التلسكوب والتلسكوبات المشابهة الأخرىٰ ، هو العدسة الشيئية ، رغم أنها يمكن أن تكون حجاب حاجز أو صورة عدسة أو حجاب حاجز ضمن التلسكوب . وبؤبؤ الخروج هو صورة العدسة العادلة أو حجاب له أصغر قطر زاوي يمكن رؤيته من العدسة العينية . وعندما توضع العين عند مخرج البؤبؤ تتم مشاهدة المجال الكلي للرؤية . ويشكل حجاب

المجال حافة حادة لمجال الرؤية وقد يكون في مستوىٰ الصورة الأولىٰ أو الثانية كما هو في علامة التسديد . وهذا هو مقياس العينية وهي عادة تطبع على قطعة زجاجية ولكنها يمكن أن تكون أسلاكاً متقاطعة ضمن حجاب معدني .

ومسددات الأسلحة الصغيرة ذوات التركيب الموشوري المشابهة إلى نصف الناظور ، تصنع حالياً بكميات كبيرة للجيش البريطاني ، ولها إرسال ضوئي جيد ملحوظ وجودة بصرية عالية .

وكمثال لمسددة مشاة مستخدمة في الجيش البريطاني هي TRILUX SUIT L2A1 المطورة من قبل RARDE . وتتألف من تلسكوب بصري مع زحف جانبي موشوري لراحة المستخدم . ولهذه المسددة تكبير (× 4) ومجال رؤية (٨) درجات وراحة عين (٣٥) ملم مع واقية عينية مطاطية لتقليل الضوء الخارجي . وبؤبؤ الخروج (٦) ملم يلائم العين المكيفة للظلمة . وضمن مجال الرؤية ، فإن الرامي يشاهد علامة تسديد بدلاً من مقياس العينية التقليدي ؛ ويضاء هذا المؤشر بضوء أحمر من مصدر تريتيوم . ويمكن تغيير شدة الإضاءة لتلائم الظروف المحيطة بواسطة سيطرة خارجية . والراسم ذو الموضعين يعطي خياراً لتنظيم المدىٰ بين صفر ـ ٤٠٠ متر وبين ٤٠٠ ـ ٦٠٠ متر . وتُصمم المنظومة لتحسين فعالية سلاح المشاة في القتال الليلي ولزيادة مدىٰ العمل وراء نطاق المسددات الحديدية التقليدية .

وتلسكوبات التسديد الكبيرة الخاصة بالمدافع الكبرىٰ التي تم تطويرها في مطلع هذا القرن قد جعل في الحقيقة التلسكوبات الأرضية الضخمة أن تكون ذات قدرة تكبير (× 3)إلى حد ما مع فتحات ذات قطر يصل إلى (٥٠) ملم . ولا يزال الجيش البريطاني يستخدم تلسكوبات التسديد ذات التكبير الواطىء ، ولكنها الآن أصغر حجماً وأخف وزناً .

وتتطلب المدفعية بعيدة المدىٰ تكبيراً أعظم والذي يمكن أن يتغير أيضاً

ليلائم الظروف الجوية السائدة . ويُسبب هذا تطوراً في التلسكوبات ذوات القدرة المتغيرة ، ويمكن إيجاد أمثلة عليهها استخدمت في الحربين العالميتين . وتقدر مديات التكبير النموذجية (× 7) إلىٰ (× 21) وهذه المديات من التكبير هي السائدة في المنظومات البصرية الحديثة .

وتستخدم المسددات ذات الأقراص المدرجة البيرسكوبية في عملية التسديد غير المباشر للمدفعية . وهي تعمل بتكبير (× 4) وذات تصميم بصري معقد إلى حد ما ، ونتيجة الطبقات الخارجية للعدسة الحديثة ، فإن لهذه المسددات صوراً أكثر وضوحاً ولمعاناً من الصور الأولية .

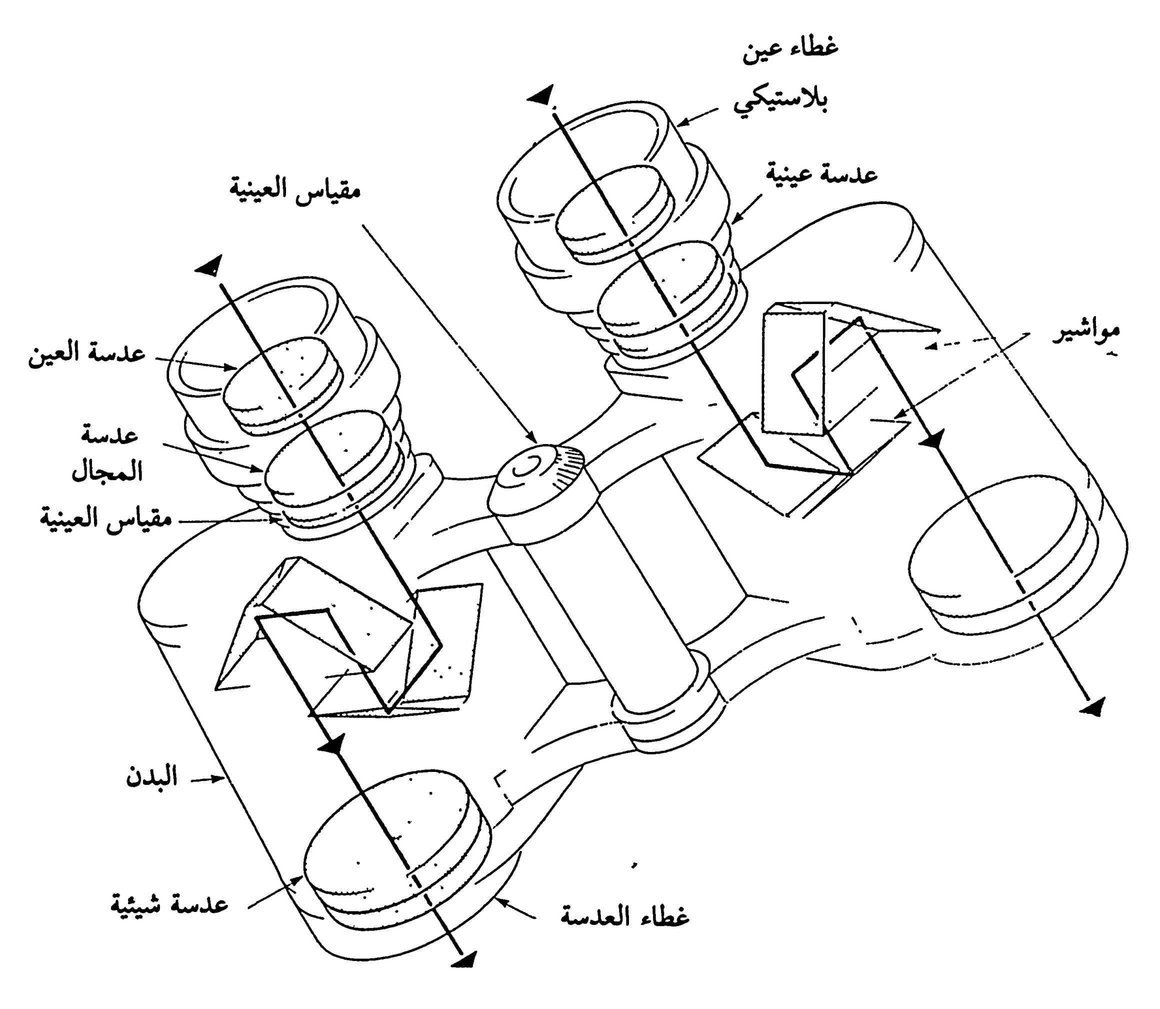
جـ . مُسدِّدة الإستيزاء :

توفر هذه المسددة تهديفاً سريعاً. وقد تطورت بشكل تام في مسددة المدفع أحادية المقطع. ومبدأ العمل هو وضع صورة مقياس العينية عند اللانهاية وبذلك تعمل كمهدفة تصويب عند الهدف . وهذا يعني أن علىٰ الرامي أن يضع المسددة علىٰ الهدف ويسحب الزناد . وفي المسددة أحادية المقطع تتم رؤية مقياس العينية بالعين اليمنىٰ بينما تتم رؤية الهدف بالعين اليسرىٰ . ومن المهم لكلا العينين أن تركزا على الهدف ولكن شكل الرؤية المفردة قد تم إنشاؤه والذي بواسطته يقوم فالق الحزمة بتركيب مقياس العينية علىٰ مسقط الهدف . إن راحة العين ليست بمشكلة كما أن موضع العين لا يؤثر بشكل هام علىٰ دقة التصويب . وهكذا فإن لها بعض المزايا الحسنة التي جعلتها بسيطة الاستخدام .

د . الناظور الموشوري :

يبين الشكل (٢ ـ ١٤) الناظور الموشوري النموذجي .

والعدسة الشيئية هي حجاب الفتحة وبؤبؤ الدخول . وهناك موشوران في كل مسلك بصري لتعديل الصورة ولإعطاء الصفة المميزة لشكل الناظور .



شكل (٢ ـ ١٤) الناظور الموشوري

وفي حالة الناظور (6X) المبين في الشكل (٢ ـ ١٤) فإن مجال الرؤية هي بحدود $\frac{1}{2}$ ٨ درجة . وتتحسس كل عين فرقاً طفيفاً في الـرؤية ، وهـذا ينتج الظاهرة المجسمة والتي تتعزز من طريق التكبيرات العالية وفجوة أوسع للعدسة الشيئية . ويوضع عضوا الإبصار علىٰ مفصل مركزي يمكن تنظيمه ليلائم الفجوة بين العينين .

يوصف الناظور عادة برقمين : الأول يعطي التكبير والثاني قطر العدسة الشيئية . فناظور ٧ × ٥٠ له تكبير (7X) وقطر العدسة الشيئية (٥٠) ملم . ومدىٰ التكبير من (3X) إلىٰ حوالي (10X) يكون عملياً للأجهزة المحمولة باليد ، وفي التكبيرات الأعلىٰ من هذه يتم التأكيد على أن هناك درجة غير مقبولة لرجفة

اليد . ولأغراض الرصد الخاصة يتم استخدام الناظورين ١٥ × ٨ و ٢٥ × ١٠٥ المنصوبتين علىٰ قوائم ثلاثية كبيرة ولا زالت تستخدم بشكل واسع .

وبالنسبة إلى منظومة خاصة ، فإن مجال الرؤية يتناسب عكسياً مع التكبير علىٰ الرغم من إمكانية تصميم عدسة عينية أكثر تعقيداً بسطوح كروية للحفاظ علىٰ مجال الرؤية عند أعلىٰ تكبير . وفي الحقيقة يمكن تصميم العدسات العينية المعقدة إلى درجة تكبير (10X) التي تحتفظ بـ ٨ ½ درجة من مجال الرؤية لآلة قوة تكبيرها (6X) .

وهناك وصفان لمجال الرؤية . مجال الرؤية الحقيقي وهي الزاوية بين أقصىٰ حدود المجال المرئي من خلال الناظور . وتضرب قيمة هذه الزاوية بالتكبير لتعطي مجال الرؤية الظاهر ، وهي فكرة مهمة في تصميم العدسة العينية . وبأخذ بعض الحالات النموذجية ؛ فإن العدسة العينية ذات ثلاث عدسات بسيطة لها مجال رؤية ظاهر بمقدارة (٥٠) درجة ومن الممكن جعله كبيراً جداً بالنسبة للعين لتقوم بعملية المسح بشكل مريح ، وقد وجد عملياً أن أمثل قيمة هي حوالي (٦٥) درجة .

ويساوي قطر بؤبؤ الخروج ، قطر العدسة الشيئية مقسوماً علىٰ التكبير . ويتحكم حجم بؤبؤ الخروج بكمية الضوء الداخلة للعين ، وهو أهم معيار تصميمي لأنه يتحكم بحالة الضوء المحيط الذي تشتغل عنه الآلة بشكل جيد . ومثالياً يجب أن يكون قطر بؤبؤ الخروج نفس قطر بؤبؤ العين لأنه تحت هذه الحالة ، فإن المشهد الذي يُشاهد خلال الناظور سيكون له نفس اللمعان الظاهر الذي يُشاهد بالعين المجردة . وإذا كان بؤبؤ العين أصغر من بؤبؤ الخرُوج فإن لمعان العين المجردة سيبقىٰ ، ولكن إذا كان العكس صحيحاً ، فإن لمعان الصورة سيقل . وهذا غير مرغوب فيه في أية آلة صممت لتعمل بشكل أمثل في حالات الإضاءة الضعيفة .

من المعلومات أعلاه يكون من الممكن تصميم ناظور مناسب للاستخدامات الخاصة كما يوضحه الجدول التالي :

أقطار بؤبؤ الخروج وحالات الإضاءة

إلى حد (٣) ملم	مناسب فقط لحالات اللمعان (٦×١٨ ؛ ٨×٢٤ ؛ ١٠×٣٠ ؛ الخ)
من (٣) إلى (٥) ملم	متعدد الاستعمالات يستخدم في ضوء النهار (والشفق إذا كان أقرب إلىٰ ٥ ملم)
من (٥) ملم إلى (٨) ملم	متعدد الاستعمالات في ضوء النهار ، الشفق ، ليلاً ، ومن عجلات متحركة (٥×٤ ؛ ٧×٥٠ ؛ ٨×٦٠)

ومن المفضل استخدام بؤبؤ خروج كبير في الناظور المستخدم في الطائرة العمودية حيث من الصعب حمل الآلة ووضعها على العين بالضبط بسبب الاهتزاز . وفي هذه الأجواء فإن بؤبؤ العين في ضوء النهار وبقطر (٣) ملم سيبقىٰ ضمن (٨) ملم من بؤبؤ الخروج للناظور (٥ × ٤٠) حتىٰ تحت أكثر الحالات صعوبة .

وموضع بؤبؤ الخروج هو عامل مهم أيضاً . ويمكن لخلوص العين الطويل أن يحدد ظهور مجال الرؤية . وفي حالة الناظور (٧ × ٥٠) يكون خلوص العين (٢٠) ملم . ويجب أن يتطابق بؤبؤ العين مع بؤبؤ الخروج لاستخدام مجال الرؤية بشكل تام واستخدام الناظور إلى أبعد تأثير ممكن .

ويتيح خلوص العين بمقدار (٢٠) ملم ، لواقيات العين المطاطية بأن تطوىٰ إلىٰ أسفل لتلائم مرتدي النظارات . وتصمم الواقيات العينية لتكون في وضعها الاعتيادي للاستخدام بدون نظارات بحيث تضبط العين بشكل صحيح علىٰ بؤبؤ الخروج . وعندما تطوىٰ للأسفل فإنها تتيح لمرتدي النظارة أن يحافظ علىٰ بؤبؤ عينه نحو بؤبؤ الخروج وتجنب الفقدان في مجال الرؤية الذي قد يحدث بطريقة أخرىٰ .

والتطور الحديث في تقنية الآلة البصرية هو في حلول الأغطية المضادة للإنعكاس لسطوح العدسة والموشور. وكل هواء غير معالج لسطح زجاجي

يعكس حوالي ٥٪ من الضوء الساقط ، ولكن يمكن تقليل هذا الانعكاس إلى حوالي ١٥ , ٠٪ بغطاء مضاد للانعكاس متعدد الطبقات . وتسمىٰ هذه العملية «Blooming» . ومثـل هذه الأغـطية يمكن تمييـزها بسهـولة بـواسطة ألـوانها المنعكسة والتي تكون عادة أرجوانية أو خضراء . وفي التلسكوب المكون من خمسة عناصر بصرية يكون الإرسال الكلي للضوء الخاص بالآلة حوالي ٦٠٪ والباقي يتشتت مسبباً ضرراً لتباين الصورة . ويزيد الـ «Blooming» من الإرسال الضوئي إلى نسبة ٨٠٪ أو أكثر ويسهل تعريف وتمييز الأجسام .

وتصمم النواظير العسكرية بحيث تقاوم المعالجة القاسية ولضمان مقاومة دخول الغازات السامة . وأدوات ضبط التركيز البؤري المركزية تكون مـلائمة للاستخدامات المدنية ، ولكنها نادراً ما تكـون قويـة بما فيـه الكفايـة للبيئات العسكرية . ولا تحمل النواظير أدوات تنظيم التركيز البؤري المركزي ، والتي من الصعب ضمانها ، إلا أن لها ، بدلاً من ذلك ، بؤرة عينية مستقلة . وقد استخدمت البؤرة الثابتة لعدة سنوات ؛ وعندما استخدمت ، تمَّ وضع الآلة إلى مسددة المستخدم . وقد تم إلغاء هذا مع الحاجة إلى تحريك منظمات التركيز البؤري وجعل الإدامة والضمان أسهل . ومع وجود خلوص عيني كافٍ يمكن إرتداء النظارات الاعتيادية لتصحيح عيوب التسديد .

ورغم أن التأكيد على النواظير العسكرية هو باتجاه التشديد علىٰ الوزن وأن التصميم الجيد للآلة ، يفرض أن تكون خفيفة الوزن ، ومتوازنة بشكل جيد وسهلة الاستخدام . وقد اتخذ الناظور (٧ × ٤٢) كناظور عسكري قتالي بدلاً من النواظير الأصلية (٦ × ٣٠) و(٧ × ٥٠) ، إلى حد أمكن تقليل الحمولة ، واستخدمت مواشير حديثة لتلغي الحاجة إلى شكل البدن التقليدي . وتستخدم العـدسات العينيـة ذات الخلوص العيني الطويـل لأغراض المـلاءمة وأغـطية العدسات الحديثة ، كما أن التصميم البصري المحسن قد أعطىٰ صوراً ناضرة لامعة .

هـ . موجدات المدىٰ البصرية* :

لقد تم إبطال موجد المدىٰ البصري من قبل موجد المدىٰ الليزري الذي سيتم وصفه في الفصل الخامس ، ولكن لا زالت هناك بعض التطبيقات التي تستخدم التقنية السلبية .

ويعتمد موجد المدىٰ المتزامن علىٰ معيار حدة الإبصار للعين . ويتكون من تلسكوبين مع عاكسات أمام كل عدسة شيئية وعدسة عينية مركزية مشتركة . ويتم عرض الصور المنفصلة فوق وتحت خط مركزي . والآلة المُضبَّطة بشكل صحيح تبين الجسم البعيد كصورة متواصلة متساوية البعد حول خط مـركزي أفقي . وإذا نُظر إلى أقرب جسم ، فإن الصورتين ستعرضان لاحقـاً . وتعود الصور علىٰ التطابق مرة ثانية بواسطة الحركة الجانبية للموشور أو العاكس وتُغيَّر كمية التصحيح المطلوبة كمقياس للمدىٰ .

وتستثمر موجدة المدىٰ المجسمة حدة التجسيم للعينين، ويمكن تشبيهها بناظور مع عدسات شيئية متبـاعدة بشكـل واسع جـداً . وهذا يضخم ظـاهرة التجسيم معطياً مظهراً إيجابياً ثلاثي الأبعاد لكل الأجسام في مجال الرؤية . ويتم إيجاد المدىٰ بواسطة تأثير النقطة أو مقياس العينية في كل عدسة عينية . فإذا استعملت النقطة فإنها تندمج مجسامياً ويسبب دوران المقبض المرتبط بمقياس المدىٰ ، حركة ظاهرية للنقطة إلى أن تتم مشاهدتها في نفس مستوىٰ الهدف حيث يُقرأ المدىٰ من المقياس . أما إذا استخدم مقياس العينية فإن العين تدمج هذه المقاييس كسلسلة من النقاط يتم تأشير كل واحدة منها . ويتم الحصول على المدىٰ بتدوين أي نقطة تكون علىٰ مسافة مشابهة لمسافة الهدف ويحول الرقم إلىٰ قراءة مباشرة للهدف .

وتعمل موجدة المدىٰ غير الإعتيادية علىٰ تكبير غير متساوٍ في عضـوين بصريين للمنظومة . وهذا مشابه لمـوجدة المـدىٰ المتزامنـة في أن الصورتين تشاهدان في عدسة عينية منفردة ، واحدة فوق وأخـرىٰ تحت خط مركـزي . وهناك مقياس مدىٰ منقوش علىٰ الخط المركزي. وعندما تدور موجدة المدىٰ

بشكل طفيف في الإتجاه ، فإن الصورتين تتخللان مقياس المدىٰ . ويعتمد زمن التخلل على الفرق في التكبير : أحدالجزأين (× 8) والآخر (× 7.5) . وعند بعض النقاط على طول الخط المركزي تتـطابق الصورتـان وعندئـذٍ تتم قراءة المدىٰ من المقياس مباشرة .

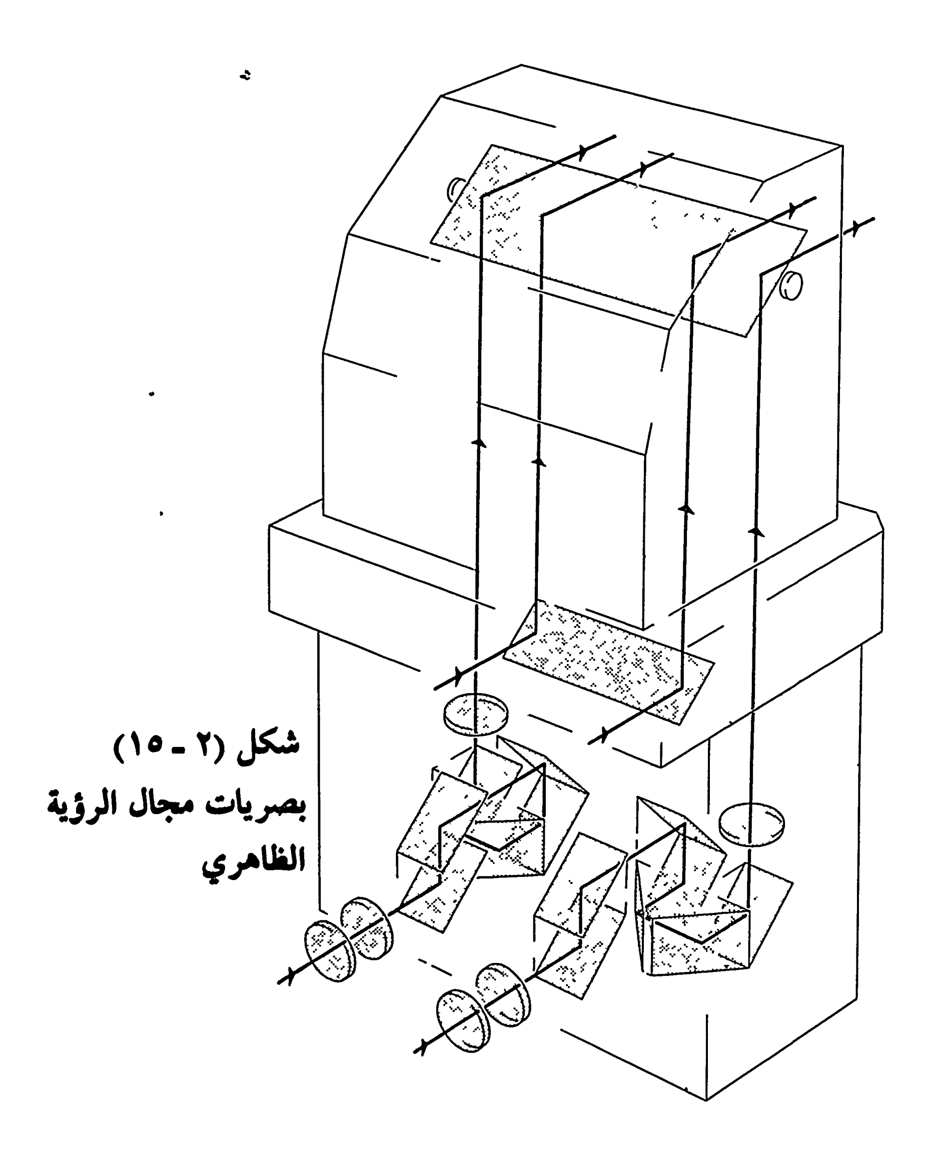
وتستخـدم موجـدات المدىٰ الإستـوديـومتـريـة (جهـاز لقيـاس أطـوال المنحنيات : وتعطي تقديراً للمدىٰ بواسطة تنظيم قطر الفتحة المتغيرة إلى أن تتلاءم بشكل مضبوط علىٰ الهدف المعروف حجمه . ويعمل مقياس العينية في الناظور بنفس الأسلوب ، ولكن يتم تخمين المستقيم المقابل للهدف بوحدات المِلْ«٢» ويُستحصل المدىٰ من الصيغة التالية :

$$\text{Range} = \frac{\text{Dimension of forget (m)} \times 1000}{\text{No of mils}} \quad \text{و} \quad \text{المدىٰ} = \frac{\text{بعد الهدف (متر)} \times ١٠٠٠}{\text{عدد المِل}}$$

و . بصريات مجال الرؤية الظاهري : (AFV)

لقد طورت بصريات مجال الرؤية الظاهري عبر السنوات من التلسكوبات البسيطة إلىٰ المنظومات متعددة العناصر المعقدة والغالية . إن استخدام تقنية غطاء العدسة الحديثة يتيح لكل الآلات العسكريـة الحاليـة استخدام عنـاصر بصرية أكثر مما كان ممكناً استخدامها في السنوات السابقة ، كما يمكن مشاهدة ذلـك في الشكـل (٢ ـ ١٥) . ويتم تفضيـل المـواشيـر علىٰ المـرايـا بسبب استقراريتها وسهولة تثبيتها ، عدا الحركة ، عندما تكون مطلوبة ، فإن المـرآة تكون أخف في حركتها .

ويجهز بيرسكوب قائد الدبابة بقنـاة تكبير واطئـة (× 1) لغرض اختيـار الهدف ، وتكبير عالي (× 10) لغرض تعريف الهدف . ويفضـل بؤبؤ خروج بقطر (٥) ملم عند الكبير العالي ، ومجالات رؤيا لـ (٦) درجـات عند تكبيـر (× 10) و (٦٠) درجة عند تكبير (× 1) .



شكل (٢ ـ ١٥)
بصريات مجال الرؤية الظاهري

٦ ـ التطورات المستقبلية :

رغم وجود تطور رئيسي في المسددات الألكتروبصرية عبر (١٥) سنة ، فإنه لا زالت هناك حاجة إلى منظومة بصرية بسيطة ورخيصة تكون فعالة في الحالات الصعبة . وستستمر المسددات البسيطة في الاستخدام بشكل رئيسي في حالات الانسحاب ، ولكن المسددات التلسكوبية ستصبح مسألة عامة للأسلحة كما وستستخدم أيضاً مسددات التزامن . ومن المحتمل أن تكون هناك تطورات إضافية في مكثفات صورة اللوح القناتي المايكروي والذي سيفي بمتطلبات منظومات الرؤية الليلية ثنائية العينين وأحادية العين خفيفة الوزن وبالأخص التطورات الحاصلة في موثوقيتها .

وحدات الضوء

١ ـ الوصايا الفيزياوية والفيزياء النفسية :

تصمم وحدات الضوء (الإضاءة واللمعان) للتعبير عن الإستجابة البصرية لمستوىٰ محدد من الإضاءة ، وهي ليست من السهولة في حد ذاتها ، في نسبتها إلىٰ الوحدات الفيزيائية للجول والواط . ويعطينا الجدول التالي الوحدات الفيزيائية المختلفة المُتضمَّنة في قياس الإشعاع ومكافئاتها .

التسلسل	الكمية الفيزياوية	
أ	ب	جـ
١ .	طاقة مشعة . . . جول J	طاقة ضوئية . . . تالبوت
٢ .	كثافة مشعة . . . جول م$^{-٣}$ Jm^{-3}	كثافة ضوئية . . . تالبوت م$^{-٣}$
٣ .	فيض مشع . . . واط W	فيض ضوئي . . . لومن
٤ .		
٥ .	الإشعاعية (كثافة الإشعاع الساقط) واطم$^{-٢}$... Wm^{-2}	كثافة الدفق الضيائي لومن م$^{-٢}$ (لوكس) Lux
٦	شدة الإشعاع (واط لكل زاوية مجسمة) واط . ستير$^{-١}$ . . . $W . ster^{-1}$	شدة ضوئية . . . لومن ستير$^{-١}$ (شمعة) Candle
٧ .	كثافة الدفق الضوئي من سم^{٢} من السطح واط . ستير$^{-١}$ م$^{-٢}$ . . . $W . ster^{-1} m^{-2}$	النصوع . لومن . ستير$^{-١}$ م$^{-٢}$ أو شمعة م$^{-٢}$

والقياس الابتدائي لمنظومة الفيزياء النفسية هو نصوع السطح للمشع الأسود عند درجة حرارة إنجماد البلاتنيوم (٢٠٤٣,٥ كلفن) ، والذي يساوي (٦ × ١٠^{٥}) لومن ستير$^{-١}$ م$^{-٢}$.

٢ ـ الخروج الضوئي وكثافة الدفق الضيائي :

يُعبّر عن الخروج الضوئي وكثافة الدفق الضوئي : لومن م$^{-٢}$ (لوكس). أما الوحدات الإنكليزية فقد كانت قدم ـ شمعة (لومن قدم$^{-٢}$) = ١٠,٧٦٤ لوكس . وهناك بعض القيم النموذجية مثل : الشمس (في وسط خط الإستواء) = ١٠^{٥} لوكس .

مصباح كهربائي ٦٠ واط = ٥٠ لوكس على مسافة ١ م .

٣ ـ النصوع :

هو نفس المصطلح التقليدي اللمعان . وبما أن (١) لومن ستير$^{-١}$ = شمعة واحدة فإن وحدة النصوع يعبر عنها بشكل شائع جداً شمعة لكل م^{٢} (شمعة م$^{-٢}$) .

ينص قانون جيب تمام لامبيرت على أن كمية الضوء المتشتت أو المُستلم في اتجاه محدد ، تقل مع جيب تمام الزاوية بين العمود على السطح وبين الاتجاه المفترض . والسطح الذي يشتت الضوء بهذه الطريقة أو السطح الذي يشع الضوء يبدو لامعاً بشكل متجانس في كل الاتجاهات . وهذا يعني أن نصوع السطح هو نفسه في كل الاتجاهات . مثل هذه السطوح تعرف بسطوح النشر المتجانسة أو سطوح لامبيرت . وحين يكون نصوع هذا السطح (١) شمعة م$^{-٢}$ فإنه يشع (π) من اللومن لكل م^{٢} . وعملياً فإن سطوحاً عديدة لها أو قريبة من نفس هذا التصرف . (شاشة تلفزيونية تعرض تغييرات النصوع من ٠,١ إلى ١٠^{٣} شمعة م$^{-٢}$ ومجموع خرج الضوء بحدود ٠,٥ لومن) .

أما الوحدتان الأخريان للنصوع فلا تزالان قيد الاستخدام حالياً . وهما :

أ . لامبيرت : L

وتعرف بأنها نصوع السطح الناشر المنتظم ، تقوم بتشتيت أو ابتعاث (١) لومن لكل سم^{٢} . وهكذا فإن ملي لامبيرت واحد (mL) هو نصوع سطح يشع (١٠) لومن لكل م^{٢} .

إذن : $1mL = \frac{10}{\pi} = 3.18 \text{ Candle } m^{-2}$

ب . قدم ـ لامبيرت : (ft-L)

ويعرف على أنه نصوع السطح الناشر المنتظم الذي يشع (١) لومن لكل قدم^{٢} .

وبما أن : ١ م^{٢} = ١٠,٧٦٤ قدم^{٢} .

∴ : ١ لومن/قدم^{٢} = ١٠,٧٦٤ لومن/ م$^{=}$ ١ ملي لومن mL .

ملاحظة :

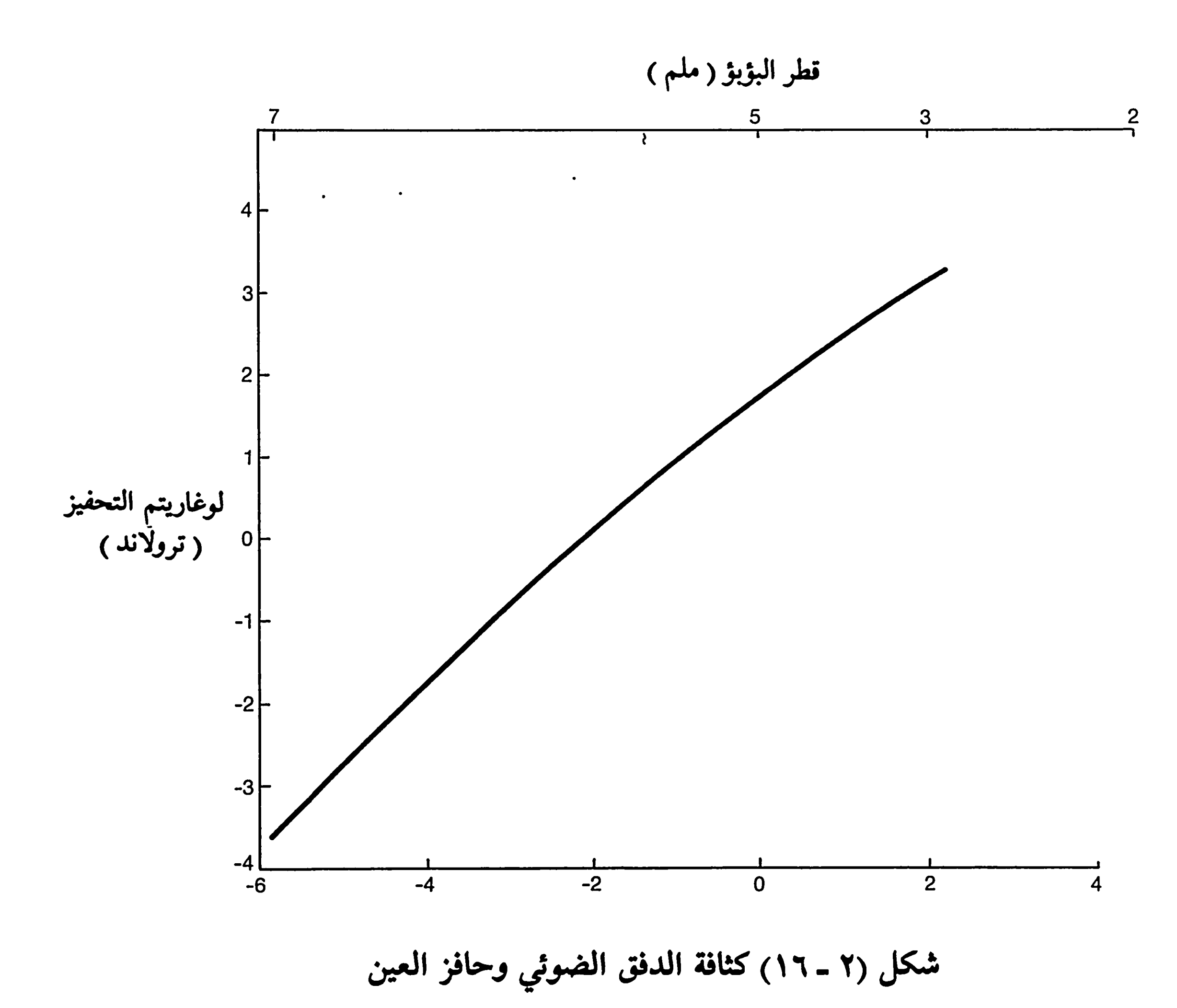
إن السطح الناشر ذا إنعكاسية (R) المضاء بمقدار (E) لومن / وحدة مساحة سوف ينشر بشكل تشتتي (RE) من اللومن / وحدة مساحة . وكتعريف فإن هذا يماثل تصوعاً قدره (RE) لامبيرت / وحدة مساحة أو RE/π شمعة / وحدة مساحة وهكذا فإن كثافة الدفق الضوئي الساقط (E) لومن / م^{٢} أي الفيض (E) ، فإن النصوع المماثل للسطح هو RE/10 mL أو RE/π شمعة م$^{-٢}$.

٤ ـ ترولاند :

هو قياس تحفيز الشبكية ويساوي حاصل ضرب النصوع (شمعة م$^{-٢}$) في قطر البؤبؤ (ملم) . ويوضح الشكل (٢ ـ ١٦) العلاقة بين التحفيز والنصوع .

٥ ـ تكافؤ الوحدات الفيزياوية :

إن تكافؤ الوحدات الفيزياوية والفيزياء النفسية يعتمد علىٰ عدد المتغيرات الذاتية (الشخصية) : ظروف الرصد ، عمر وخبرة الراصد ، المحتوىٰ الطيفي للضوء . ويعتمد العامل الرقمي المعبر عن التكافؤ ، على الطول الموجي ، فعند طول موجي مقداره ٠,٥٥٥ مايكرومتر ، يكون عدد التكافؤ (١) واط = ٦٨٠ لومن . وهذا يعني أن فيضاً شعاعياً مقداره (١) واط عند طول موجي ٠,٥٥٥ مايكرومتر ، يعطي نفس التحسس الذي يعطيه نصوع مقداره (٦٨٠) لومن . وفي الأطوال الموجية الأخرىٰ في المنطقة المرئية ، فإن (واط) واحداً ينتج تحسساً أقل من (٦٨٠) لومن .



شكل (٢ ـ ١٦) كثافة الدفق الضوئي وحافز العين

الهوامش

(١) الرقم البؤري : f-number

قياس فتحة العدسة بالنسبة إلىٰ بعدها البؤري .

(٢) المِلْ : mil

جزء من ألف من الأنج .

والمل الدائري : وحدة مساحة تساوي مساحة دائرة قطرها جزء من ألف من البوصة .

والمل الزاوي : حوالي جزء من ١٨ من الدرجة (٦٤٠٠ مِلْ زاوي تساوي ٣٦٠ درجة) .

« الفصل الثالث »

تكثيف شدة الصورة

١ - الرؤية في الليل :

إن عدم قدرة العين على الرؤية في الظلام ، ربما يكون تصريحاً مبالغاً فيه كما بين ذلك الفصل السابق . ولكن مع الحاجة إلىٰ القتال (٢٤) ساعة ، فإن القابلية علىٰ الرؤية جيداً في الظلام ، مهمة جداً . وإلى هذا الحد نكون قد تعاملنا مع العين وطريقة عملها بالتفصيل . من ناحية ثانية وكنقطة بداية لهذا الفصل فمن الضروري التصريح ثانية كيف تعمل العين في مستويات الإضاءة المنخفضة .

يتم إنتاج قابلية العين لإدراك التفصيل الدقيق - قدرتها على التفريق - بواسطة المخاريط والتي أيضاً مسؤولة عن رؤية اللون . إن مدىٰ الإستجابة لمستويات النصوع للمخاريط ، التي تدعىٰ استجابة الرؤية في الضوء ، هي من (٣) إلى ٣ × ١٠^١٥ شمعة م^-٢ . إن مقدار ٣ شمعات م^- تقابل ضوء نهار ضعيفاً . وتحت هذا المستوىٰ فإن قدرة العين علىٰ تحسس التفاصيل تهبط بسرعة . ولأجل حماية الشبكية تحت حالات اللمعان العالية جداً فإن تقلصات القزحية تحدد كمية الطاقة الضوئية الساقطة علىٰ الشبكية . ويظهر الحد الأعلىٰ لتفاوت الرؤية المسموح في حدود ٣ × ١٠^٥ شمعة م^-٢ .

والعصيبات تكون أكثر حساسية بكثير من المخاريط ولكن ، وبسبب أن العديد من العصيبات ترتبط إلى ليف عصبي منفرد ، فإنها غير قادرة علىٰ تحسس التفاصيل الدقيقة . من ناحية ثانية فإن هذا الترابط للعصيبات يسمح

للإشارة لأن تتكامل عبر مناطق كبيرة من الشبكية وبذلك تحسن نسبة الإشارة إلى الضوضاء على حساب القابلية لإدراك التفاصيل الدقيقة . وتعمل العصيبات في مستويات أدنىٰ من ٣×١٠^{-٢} شمعة $م^{-٢}$ ، أما العين فتكيف للظلمة تماماً عند حوالي ٣×١٠^{-٥} شمعة $م^{-٢}$ ، أما الزمن المطلوب لهذا التكيف فهـو حوالي (٣٠) دقيقة وهو الزمن المستغرق لتكوين مادة الردودوبسين في العصيبات .

والمشكلة بعد ذلك يمكن أن تكون سهلة جداً : وهي زيادة مستوىٰ الدفق

جدول (١)

مستويات الدفق الضوئي في النهار والليل
مقاسة بوحدات اللوكس وقدم ـ شمعة

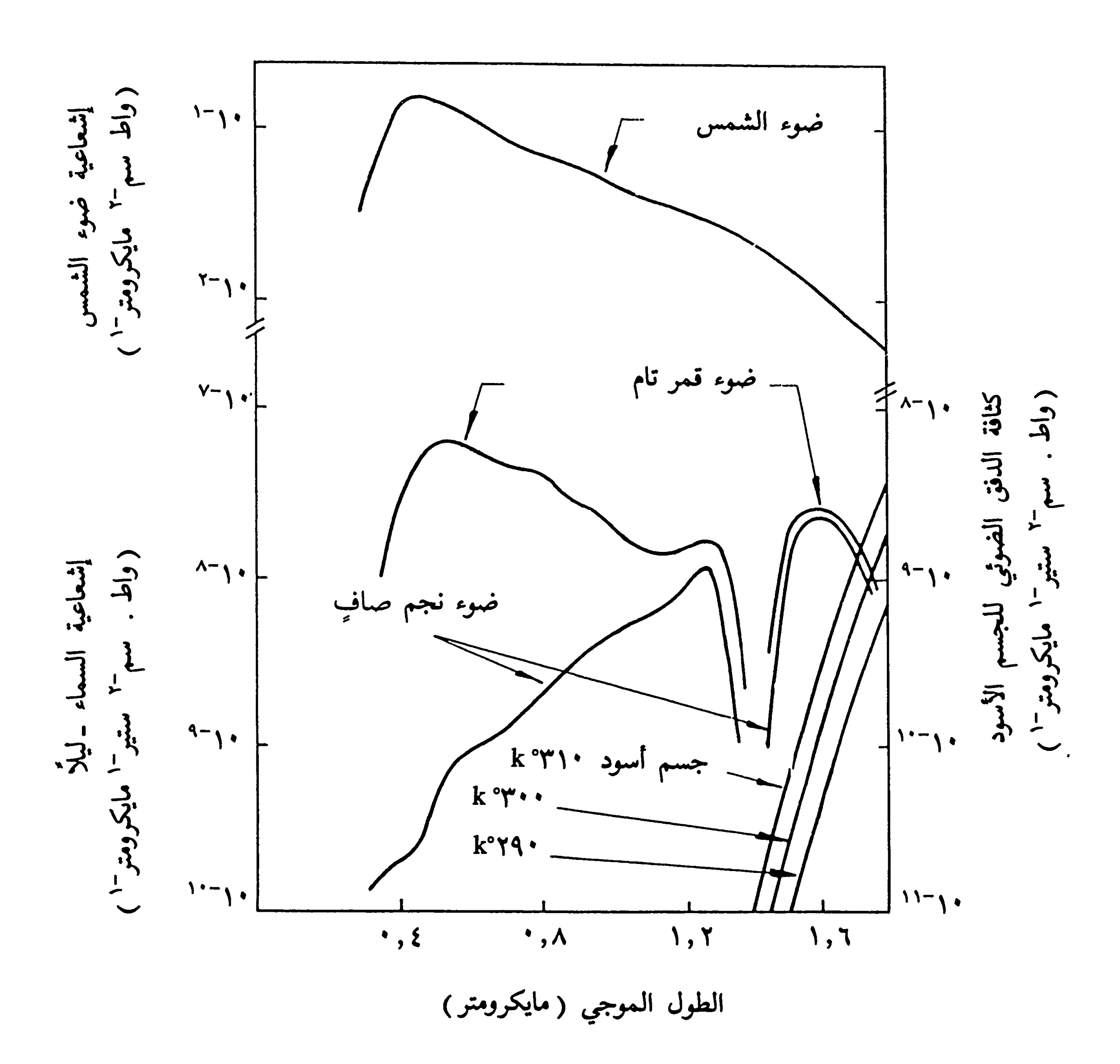
المستوىٰ	لوكس	قدم ـ شمعة
ضوء شمس صافٍ	$١٠^{٥}$	$١٠^{٤}$
يوم صيفي تام (ظهراً)	٧×١٠^{٤}	٧×١٠^{٣}
صيف غائم / يوم شتوي مشرق (ظهراً)	٢×١٠^{٤}	٢×١٠^{٣}
يوم شتوي ملبد بالغيوم (ظهراً)	٥×١٠^{٣}	٥×١٠^{٢}
إضاءة عمل داخلي جيدة	$١٠^{٣}$	$١٠^{٢}$
غروب الشمس شتاءً (سماء صافية)	٥×١٠^{٢}	٥×١٠^{١}
الشفق (الغسق)	$١٠^{١}$	١٠ صفر
شفق عميق	١٠ صفر	$١٠^{-١}$
ضوء قمر صافٍ (القمر في السمت)	$٣,١ \times ١٠^{-١}$	$٣,١ \times ١٠^{-٢}$
ضوء القمر (بدر)	$١٠^{-١}$	$١٠^{-٢}$
ضوء القمر ( )	$١٠^{-٢}$	$١٠^{-٣}$
ضوء النجم الصافي	$١٠^{-٣}$	$١٠^{-٤}$
ضوء نجم معتم / ليل ممطر معتم غائم	$١٠^{-٤}$	$١٠^{-٥}$
ضوء نجم معتم جداً	$١٠^{-٥}$	$١٠^{-٦}$

الضوئي للمشهد إلى المستوىٰ الذي تبدأ عنده المخاريط بالعمل وتنتقي تفاصيل كافية لإنجاز المهمة المطلوبة . ويبين الجدول (١) مستويات الضوء مقاساً بـ (اللوكس) وقدم ـ شمعة لمختلف مستويات الضوء ليلاً ونهاراً .

ويُرىٰ من الجدول (١) انه لكي نعزز تألق المشهد من ضوء النجم المظلم إلىٰ الشفق ، فإنه يتطلب كسباً مقداره (١٠^٥) . ويمكن كسب بعض التعزيز في الرؤية ليلاً باستخدام مساعدات بصرية نقية مثل النواظير الليلية . ومع ذلك فإن هذا التحسن محدود ورغم أنه مناسب في ضوء القمر فإنه غير مناسب في ضوء النجم وأساساً فإن الأداة المساعدة تجعل الأشياء أسوأ عندما يقترب حد العتبة للرؤية بسبب خسائر الضوء في البصريات . وللحصول علىٰ تحسين هام جداً في الرؤية ليلاً فإن بعض الأنواع من الوسائل الألكتروبصرية تكون ضرورية لإعطاء صورة أنصع بعدة مرات من نصوع المشهد عند النظر إليه بالعين المجردة . وهناك نوعان من وسائل المراقبة الالكتروبصرية السلبية ، أحدهما يستخدم الضوء المرئي المحيط زائداً بعض الإشعاع الليلي للسماء المنعكس عن المشهد والذي سيوصف في هذا الفصل ، والآخر يستخدم الإشعاع الحراري المنبعث من الأجسام في المشهد والذي سيوصف في الفصل التالي .

٢ ـ إشعاع السماء الليلي والقريب من الأشعة دون الحمراء :

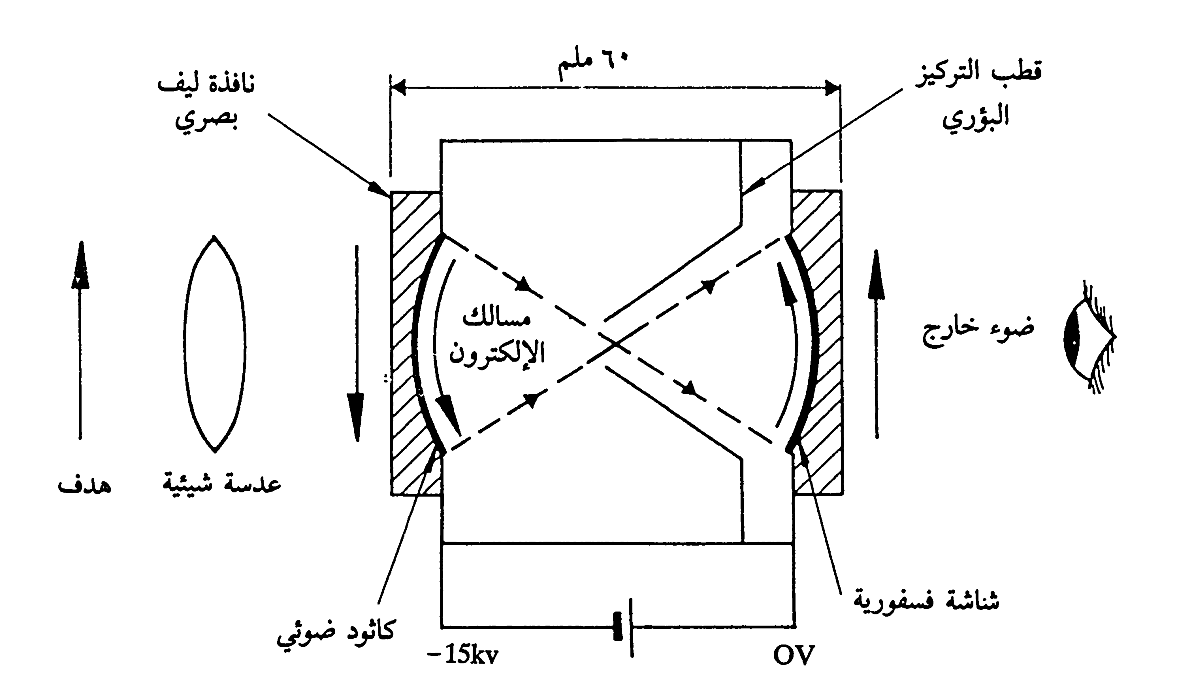
إن الإشعاع الساقط علىٰ المشهد ليلاً يأتي من مصادر مختلفة ، مثل ضوء الشمس المنعكس عن القمر ، والكواكب السيارة ، توهج النجوم والسماء . ومن الشكل (٣ ـ ١) يمكن أن نرىٰ أن هذا الإشعاع يكون موجوداً في الجزء المرئي من الطيف من (٠,٤) مايكرومتر إلىٰ (٠,٧٥) مايكرومتر ، وأيضاً في الجزء القريب من الأشعة دون الحمراء للطيف خارج (٢) مايكرومتر . وهكذا فإن الوسيلة الالكتروبصرية للرؤية الليلية ستكون أكثر فعالية إذا أمكنها الإفادة من الكميات الهائلة من الإضاءة القريبة من الأشعة دون الحمراء المحيطة . ومثل هذا الجهاز الالكتروبصري يجب أن يعمل بثلاثة أشياء : الأول عليه أن يجمع الفوتونات عند الأطوال الموجية المرئية والقريبة من الأشعة دون الحمراء



شكل (٣ ـ ١) خصائص التوزيع الطيفي لضوء الشمس ، ضوء القمر ، ضوء النجم وبعض الأجسام السوداء

وتحويلها إلىٰ الكترونات . ثم يجب أن يزيد طاقة الالكترونات ، وذلك بتعجيلها خلال مجال كهربائي ـ عملية التضخيم ـ وأخيراً يجب عليه أن يحول الالكترونات ذات الطاقة العالية رجوعاً إلىٰ فوتونات عند الأطوال الموجية المرئية .

مثل هذا الجهاز الذي يعمل بهذه الطريقة يسمىٰ مكثف الصورة ٣ ـ ١ كما في الشكل التخطيطي (٣ ـ ٢) .



شكل (٣ ـ ٢) مكثف الصورة

٣ ـ الكاثودات الضوئية :

يتم تركيز الأشعة المنعكسة من الهدف بواسطة العدسة الشيئية على الكاثود الضوئي . ويصنع الكاثود الضوئي من مادة تطلق الالكترونات عند امتصاصها لشعاعٍ كهرومغناطيسي . وتعرف هذه العملية الإنبعاث الضوئي .

أ . الإنبعاث الضوئي :

هناك ثلاث حقائق تخص الإنبعاث الضوئي . ويجب إدراك أن أي انبعاث لا يظهر إذا كان تردد الإشعاع دون قيمة حد معين بغض النظر عن شدة الإشعاع . ثم من المهم التذكير بأن طاقة الالكترون المنبعث تعتمد فقط على تردد الإشعاع . وأخيراً فإن عدد الالكترونات المنبعثة لكل ثانية (التيار) تتناسب مع شدة الإشعاع .

وتعطي صيغة Einstein طاقة الألكترون المنبعث

$$E = hf - w$$

حيث E = طاقة الالكترون مقاسة بوحدات الكترون فولت .

f = تردد الإشعاع الساقط .

h = ثابت بلانك (٤,١٤ × ١٠^-١٥ الكترون فولت . ثانية) .

w = دالة المشغل للكاثود الضوئي مقاساً بـ الكترون ڤولت .

ومن هذا نرىٰ أن أدنىٰ تردد (f_0) يسبب الإنبعاث الضوئي ، يظهر عندما تكون

$$E = 0 = hf_0 - w$$

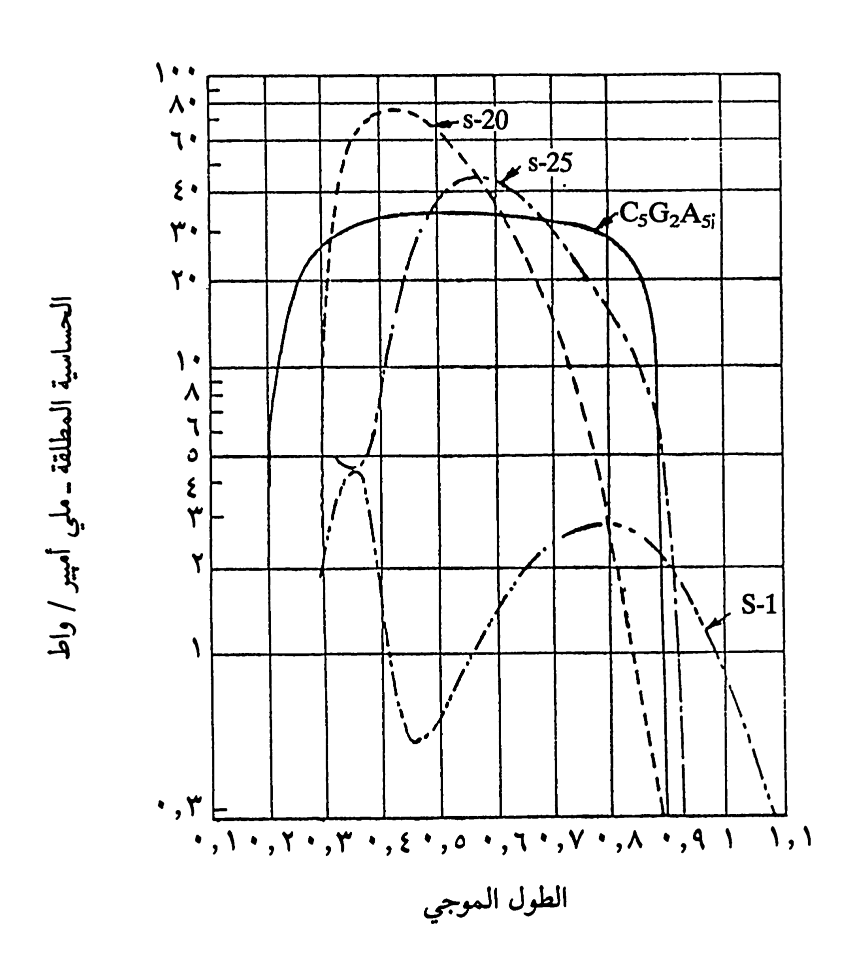
أو عندما تكون : $hf_0 = w$.

وتسمىٰ (w) دالة الشغل ، وبالنسبة للفلزات ، تكون نسبتها عالية نسبياً و (f_0) تقع في جزء الأشعة فوق البنفسجية من الطيف . وللحصول على الكاثودات الضوئية التي تعمل في جزء الأشعة دون الحمراء من الطيف ، فإنه يتطلب مواد ذات دوال شغل واطئة بكثير من الفلزات البسيطة . وعملياً تتكون الكاثودات الضوئية من طبقات ذات عناصر متعددة والتي تمثل طبقات شبه موصلة ذات دالة شغل واطئة . وكأهمية عملية فإن عدد الالكترونات المنبعثة من منطقة معينة لكل ثانية تنتسب خطياً إلى شدة الإضاءة الساقطة على مدىً واسع . لأن هذا يسمح بإنتاج اللون النصفي[1] halftone الجيد في جهاز التصوير .

ب . المواد :

يستعمل عدد من المجاميع المختلفة من المواد . وكان الكاثود الأولي المسمىٰ S_1 يستخدم الفضة والأكسجين والسيزيوم . وهي المادة الناجحة الأولىٰ وقد استعملت بشكل واسع في منظومات الأشعة دون الحمراء الفعالة . ومع ذلك ، فهي غير حساسة إلى حد ما ومعرضة إلىٰ ضوضاء حرارية . ويتألف الكاثود الضوئي S_{25} من الصوديوم ، البوتاسيوم ، السيزيوم والأنتيمون . وله استجابة أفضل بكثير من S_1 ويستعمل في عدة منظومات حالية ، والمادة الحديثة الأكثر تطوراً وهي الغاليوم أرسنايد لها استجابة طول موجي منتظم وكبير . وتتميز

بإمكانية صناعتها بطريقة التنبؤ باستخدام تقنيات معالجة أشباه الموصلات . ويوضح الشكل (٣ ـ ٣) منحنيات الاستجابة للباعثات الضوئية .



شكل (٣ ـ ٣)
أداء الكاثود الضوئي

٤ ـ مكثفات الصورة :

أ . الصمامات أحادية المرحلة :

في مكثف الصورة أحادي المرحلة يتم تركيز المشهد المراد رؤيته ، على كاثود ضوئي . ويتم تعجيل الالكترونات المطلقة بواسطة مجال كهربائي بحوالي (١٥) كيلوفولت ويوجه على شاشة فسفورية من سلفات الزنك المنشّطة بالكادميوم . وتقوم الالكترونات ذات الطاقة العالية بإثارة ذرات الكادميوم التي تشع طاقتها الزائدة على شكل نور لصفي[٢] Fluorescence في الجزء المرئي من الطيف . وهكذا يوجد في الفسفور تماثل نقطة بنقطة مع الصورة دون

الحمراء في الكاثود . والصورة الإبتدائية عند الكاثود تتحول الآن إلىٰ صورة مرئية . وقد حدث تكثيف الصورة بسبب أن تعجيل الالكترونات خلال المجال الكهربائي (١٥) كيلو ڤولت قد أعطىٰ هذه الالكترونات طاقة كافية لكل الكترون ليحفز عدة ذرات كادميوم . ولكل فوتون ذي طاقة دون الحمراء عند الدخل ، هناك عدة فوتونات ذات طاقة مرئية عند الخرج .

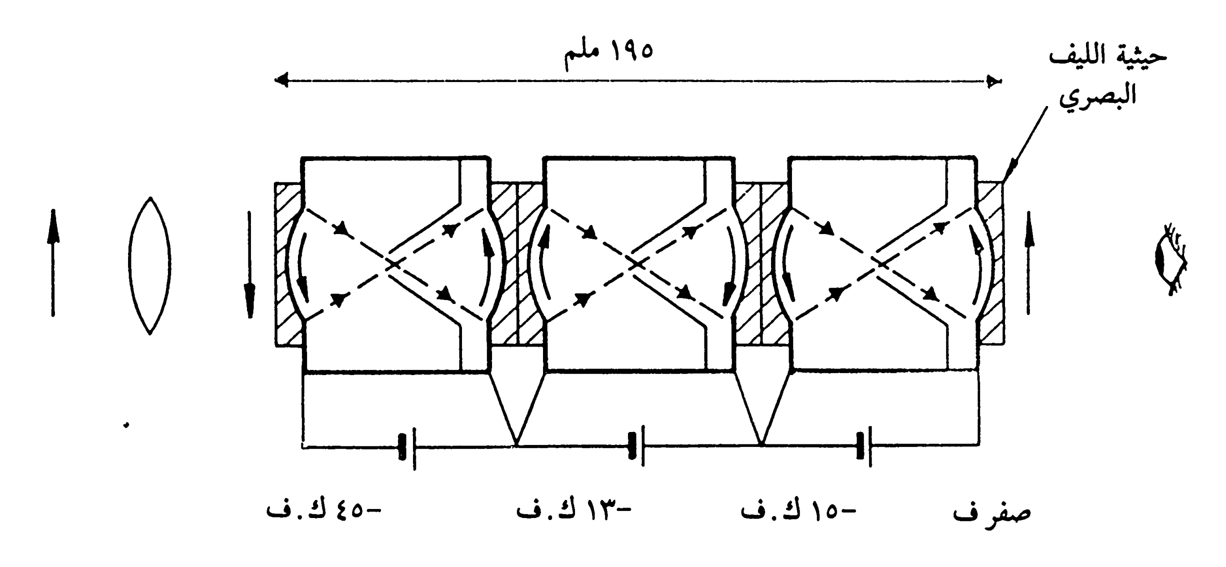
ب ـ الخصائص :

إن مكثف الصورة الجيد يجب إبتداءً أن يمتلك دليل تحويل جيد . وهو النسبة بين شدة الصورة المرئية علىٰ الشاشة المتفلورة ، وبين الصورة المركزة في البؤرة للمشهد علىٰ الكاثود الضوئي . وهذه النسبة هي كسب المكثف ، وإن القيمة النموذجية للصمام هي (٥٠) ، إضافة إلىٰ أنها تتطلب قدرة تفريق واضحة . وهذا يعكس أدنىٰ التفاصيل التي يمكن ملاحظتها في الصورة . إن قدرة التفزيق إلى حد (٤٠) زوجاً من الخطوط لكل ملم في نسبة تباين ٢٠٪ ، شيء ممكن ، أي أنه عند (٤٠) زوجاً من الخطوط لكل ملم ، فإن دالة التحويل للتضمين تكون ٢٠٪ . وتتأثر قدرة التفريق بشكل كبير بسُمك الشاشة الفسفورية ، ثم إنها تحتاج إلىٰ إضاءة خلفية واطئة . وهذا قياس لإضاءة الشاشة المتفلورة عندما لا يضاء الكاثود الضوئي ، وهذا يجب أن يكون منخفضاً كلما أمكن ذلك لأنه يقلل التباين . وهو يتسبب بواسطة الضوضاء المتولدة داخلياً في الصمام .

جـ . الصمامات التعاقبية :

يعاني الصمام الأحادي المرحلة من مساوىء الكسب غير الكافي للكشف والتعريف السريع للأجسام في المشهد المضاء بالنجم ، وإنَّ الراصد يجب أن يكون مكيفاً للظلمة للحصول علىٰ أمثل كسب . ولهذا السبب تم تطوير الصمامات التعاقبية أو متعددة المراحل حيث يمكن الحصول علىٰ كسب عالٍ جداً . فعلىٰ سبيل المثال لتعزيز إشعاعية المشهد من ضوء النجم المعتم إلىٰ الشفق فإنه يتطلب تضخيماً بمقدار (١٠^٥) . ويمكن إنجاز ذلك بصمام ذي

ثلاث مراحل حيث يكون كسب المرحلة الأحادية (دليل التحويل) بمقدار (٥٠) . ويتم ربط المراحل المنفردة معاً بواسطة حزم من الألياف البصرية التي تؤلف ألواح مقابلة من الليف البصري الشكل (٣ ـ ٤) وهذا يسمح للصورة بأن تنتقل بأدنىٰ انحلال من سطح منحنٍ إلىٰ آخرذي تحدبٍ معاكس . والتقنيات التي تعمل هذا متقدمة وغالية الثمن . وتأثير الذروة للضوضاء الداخلية الذي

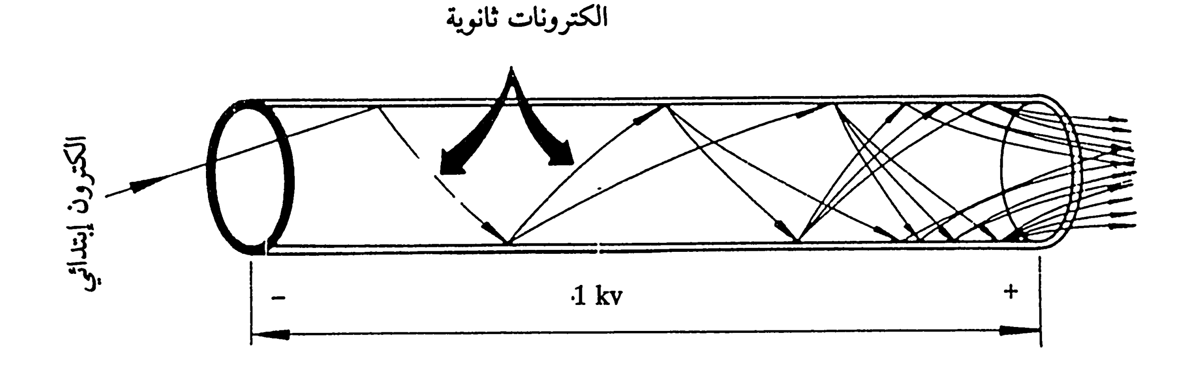


شكل (٣ ـ ٤) صمام ثلاثي المرحلة (تعاقبي)

يسبب لمعان الشاشة يفرض حداً أعلىٰ مقداره (٣) صمامات تعاقبية . وبالمقارنة مع الصمامات أحادية المرحلة فإن الصمام التعاقبي يعاني من الجودة المنخفضة للصورة ، بسبب تأثير ذروة الزيغ في المراحل الثلاث ، والزيادة المحتومة في الوزن والحجم والكلفة . والتأثير المشترك لستة سطوح متقابلة لِلِّيف البصري يسبب انخفاضاً ملحوظاً في اللمعان باتجاه حافات الشاشة . ورغم ارتفاع الجهد المبين في الشكل (٣ ـ ٤) (٤٥ كيلو ڤولت) إلا أن تصريف التيار لصمامات مكثف الصورة يكون منخفضاً كما أن صماماً من ثلاث مراحل يمكنه أن يعمل (٦٠) ساعة مِن بطارية حجم U-2 .

د . الصمامات القناتية :

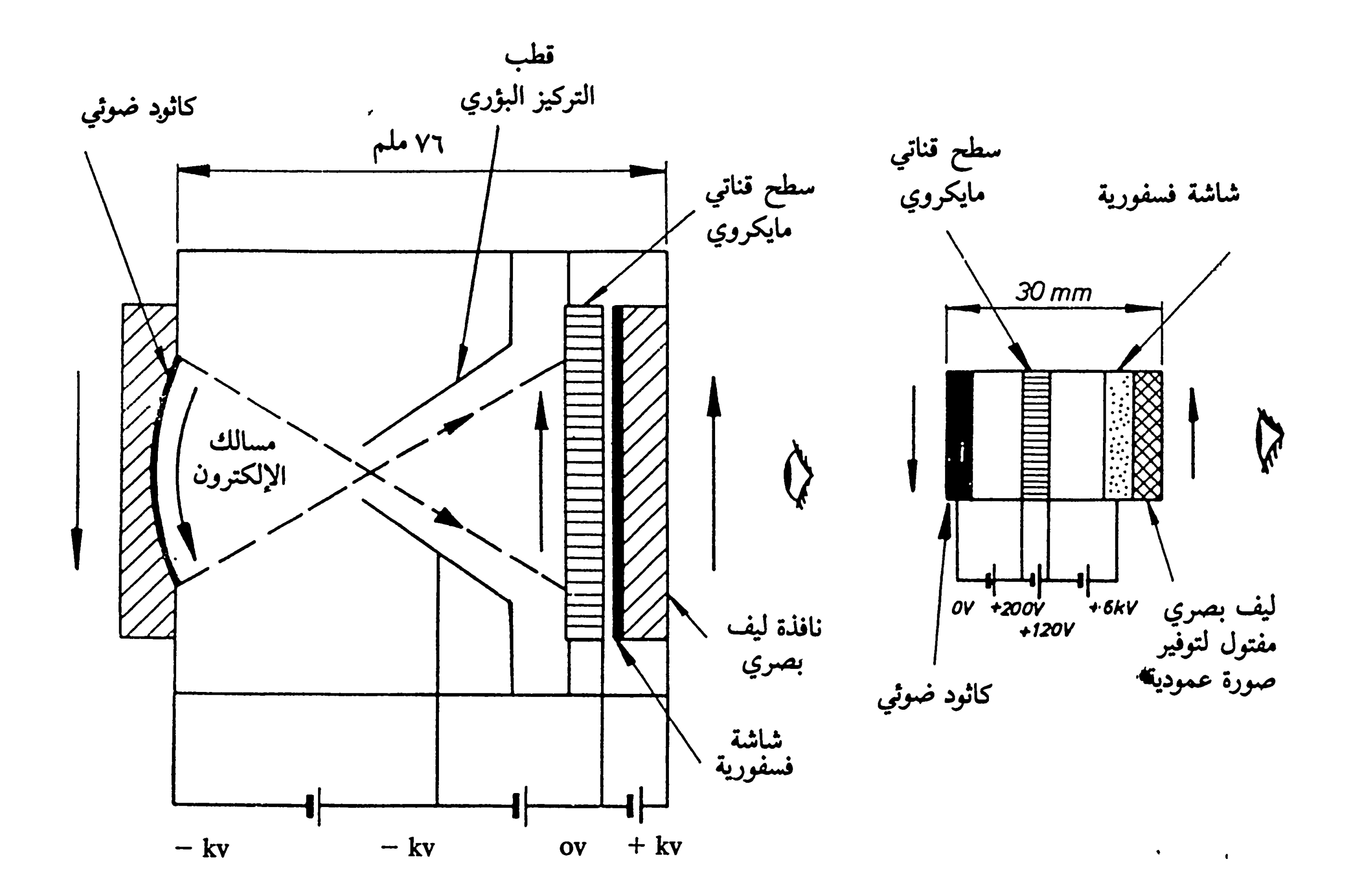
إن الطريقة الأكثر حداثة في الحصول علىٰ كسب عالي اللمعان ، تستخدم مبدأ مضاعفة الإنبعاث الثانوي لإلكترون القناة . وعندما تعبر الإلكترونات سريعة الحركة خلال مادة ، فإنها تصطدم بالإلكترونات في الغلاف الخارجي للذرات تاركة أثر التأين في أعقابها . وإذا سلط جهد عالٍ علىٰ المادة فسوف تتعجل الإلكترونات الثانوية من نفسها وتسبب إنبعاثاً ثانوياً إضافياً . هذه الظاهرة يمكن حثها في الصمامات ذات الزجاج شبه الموصل أو في الصمامات المنسجمة مع الزجاج شبه الموصل شكل (٣ ـ ٥) . وهذه الصمامات مركبة من



شكل (٣ ـ ٥) مضاعفة الإلكترون القناتي

عناصر مختلفة من الليف البصري متصلة بين الكاثود الضوئي والشاشة الفسفورية شكل (٣ ـ ٦) . ولأن الإلكترونات تكون محتواة ضمن الصمامات الزجاجية ، فسوف تُلغىٰ الحاجة إلىٰ التركيز الإلكتروستاتيكي . ويعتمد كسب الإلكترون علىٰ نسبة الطول إلىٰ القطر للقناة أكثر مما يعتمد علىٰ الأطوال المطلقة ، والجهد المسلط ومعامل الإنبعاث الثانوي للمادة . وتكون صمامات القناة صغيرة جداً ولها طول (٥٠٠) مايكرومتر وقطر (١٠) مايكرومتر . والكسب إلى حد (١٠^٥) يمكن الحصول عليه من مرحلة احادية . والمعالم الأساسية لمكثف صورة السطح القناتي هي لمعان عالٍ وحجم ووزن صغيران .

وتعاني الصمامات القناتية عدداً من التحديدات . أولها أنه يوجد هناك



شكل (٣ ـ ٦) مكثفات الصورة القناتية

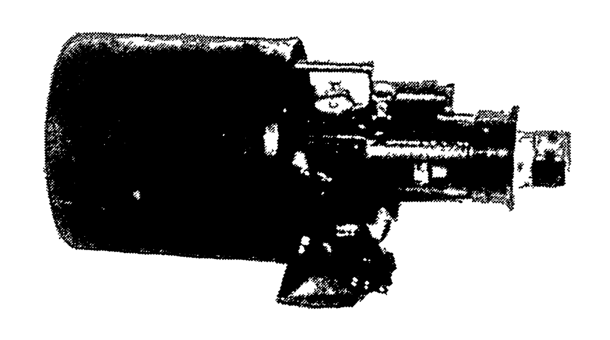
فقدان في الإلكترونات الضوئية في الزجاج بدون إنتاج نبضة خارجة . ثم إنَّ عملية الإنبعاث الثانوي تكون متغيرة بعض الشيء مما ينتج عنها زيادة في مستوىٰ الضوضاء . ومن حين لآخر فإن الالكترون قد ينتقل من صمام قناتي إلى آخر مولداً بذلك تشويشاً تداخلياً : وهذه الظاهرة ليست خطيرة .

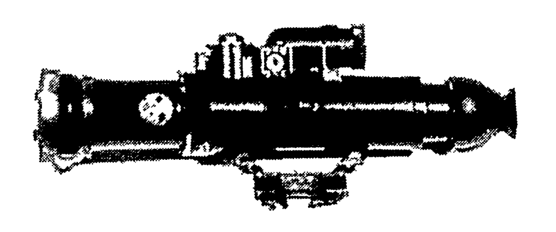
ولدىٰ مقارنته بالصمام التعاقبي ، فإن الصمام القناتي يكون أخف وزناً وأصغر حجماً وأعلىٰ قدرة علىٰ التحليل . وهو لا يعاني من حالة الإشباع والإبيضاض القطبي نتيجة التعرض الزائد مثل الصمام التعاقبي . والصمامات القناتية من جهة أخرىٰ تكون ضوضائية بشكل مضاعف مستويات الضوء المنخفضة ، وهي قيد الاستخدام حالياً في المعدات العسكرية حيث يعتبر الحجم الصغير من المتطلبات الأساسية ، مثل نظارات الطيران الليلي لطياري

السمتيات . إن الصمام القناتي المشيد طبقاً للمواصفات العسكرية يكون أكثر كلفة من الصمام التعاقبي ولنفس الأداء .

هـ . الأداء :

يعتمد الشكل النهائي للآلة علىٰ المتطلب المحدد . وتبرز الإختلافات بشكل واضح ، كما في أية وسيلة رؤية بصرية ، بين مجال الرؤية وقدرة التفريق . ويتناسب مجال الرؤية عكسياً مع البعد البؤري للعدسة الشيئية ؛ وتتناسب قدرة التفريق طردياً مع البعد البؤري للعدسة الشيئية . إن أداء مكثف الصورة يجب أن يكون واضحاً ، وبما أن الجهاز يعتمد الإضاءة المحيطة (البيئية) فإن مستوىٰ الضوء يجب أن يشكل جزءاً من التعبير . وسيكون جهاز التصوير مطلوباً على سبيل المثال ، لتمييز دبابة القتال الرئيسية (MBT) في مدىٰ مفترض تحت حالات ضوء النجم . ويبين الشكل (٣ ـ ٧) جهاز رصد ليلي إنكليزي نوع NODA) A) ومسددة السلاح الفردية (IWS) شكل (٣ ـ ٧) .





شكل (٣ ـ ٧) جهاز رصد ليلي ومسددة سلاح فردي .

والاختلاف المهم الوحيد بين الاثنين هو البعد البؤري للعدسة الشيئية ؛ وتُستخدم في كلا الجهازين ثلاثة صمامات تعاقبية متشابهة . وجهاز (NODA) مع عدسة الشيئية الكبيرة والوزن والضخامة الناتجة ، له مدىٰ أكبر بأربع أو خمس مرات من جهاز (IWS) . ويمكن تحسين أداء مكثف الصورة بزيادة الإضاءة باستخدام الأنوار الكاشفة ، الناريات (عروض الألعاب النارية) أو المضيئات الليزرية .

و . التطوير :

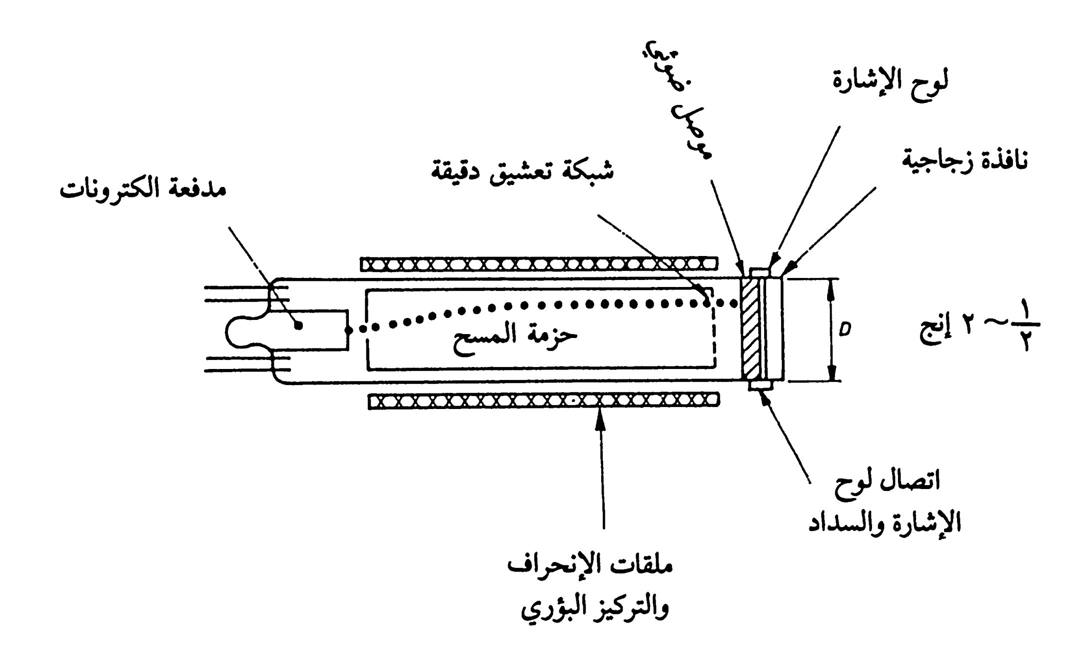
إن عملية تطوير مكثفات الصورة مستمرة مع التأكيد علىٰ التحسينات للكاثودات الضوئية . وموضوع الجهد يكون لدفع الاستجابة للباعث الضوئي إلى مدىٰ أبعد بالقرب من الأشعة دون الحمراء ، لكي تكون هناك فائدة لكل الإشعاع المتاح .

ويعطي الكاثود الضوئي المتطور ، لمصمم مكثف الصورة ، اختيارين أساسيين : فهو يستطيع إما أن يُبقي حجم العدسة الشيئية ، وبالتالي الآلة ، على حاله ويحصل علىٰ تحسين في المدىٰ ، أو هو يستطيع تقبل عدم التحسين في المدىٰ وتحقيق تقليص في حجم الآلة .

٥ ـ تلفزيون الضوء المنخفض :

إن تطور التلفزيون للإذاعة الخارجية وإعادة إنتاج الفلم أديا إلىٰ تصميم صمامات الكاميرا التلفزيونية الملائمة لحالات الضوء المنخفض . وأساساً فإن المنظومة التلفزيونية تستخدم الفوتونات من المشهد المرئي وتركزها بواسطة منظومة بصرية ، علىٰ الهدف من حيث تقوم بإطلاق الإلكترونات . إن تأثير هذه العملية هو لإبقاء شحنة موجبة في المادة لكل الكترون منبعث . وهكذا ، هناك على الهدف صورة الكتروستاتيكية مخزونة للمشهد تماثل تغييرات الشدة للصورة البصرية . ويتم طرد صورة الشحنة هذه بعد ذلك بواسطة حزمة المسح الإلكتروني للحصول علىٰ التيار الصوري المماثل . وتقوم كل شحنة موجبة

بإزاحة الكترون من حزمة المسح : وكلما كان عدد الشحنات الموجبة المحايدة أكبر ، كلما ازداد عدد الإلكترونات المزاحة ، وبالتالي يكون التيـار الصوري أعلىٰ . وهكذا يتغير التيار الصوري مع لمعان المشهد كلما تمَّ مسحه من قبل الحزمة الإلكترونية . وتولد عملية المسح ضوضاء إضافية والتي قد تغمر إشارة الصورة الفعلية إذا لم تكن الإشارة كبيرة بما فيه الكفاية . ويمكن تجنبها بشكل فعـال فقط إذا ما سبق صمـام الكاميـرا مرحلة تكثيف الصـورة انـظر الشكـل (٣ ـ ٨) .



شكل (٣ ـ ٨) صمام التصوير التلفزيوني

ولتلفزيون الضوء المنخفض إمكانية التزود بالرؤية من بُعد وعدة مقرئات redout . كما يمكن معالجة الإشارات الصورية لتعزيز عملية التباين . إضافة الى ذلك ، فإن وجـود التلفزيـون يجعله أكثر سهـولة لتنـظيم اللمعان وكسب المضخم لغرض تحسين جودة الصورة .

وتقابل هذه الميزات ، بعض المساوىء . إن تلفزيون الضوء المنخفض يكون أثقل وأضخم وأغلىٰ من مكثف الصورة المكافىء له ، كما يتطلب قدرة

كهربائية أكثر . إن غمر الإشارة القديوية في مستويات الضوء المنخفض بالضوضاء قد تمت الإشارة إليه مسبقاً . والمشكلة الأخرىٰ هي الأداء تجاه الأهداف المتحركة . إن منظومة بقدرة تفريق استاتيكي جيدة قد تمتلك استجابة بطيئة ينتج عنها تخلف الصورة وضبابيتها .

أ . صمامات تلفزيون الضوء المنخفض :

في عملية تطور تقنية التلفزيون التقليدي ، تطَوَّرَ نوعين رئيسيين من صمامات الكاميرا . ويستخدم الفيديكون[٣] Vidicon للأغراض العسكرية والصناعية وهو يشتغل علىٰ ظاهرة الموصلية الضوئية ؛ والصمام التلفزيوني اللاقط orthicon الصوري ، هو النوع الرئيسي المستخدم في كاميرا البث الإذاعي ويشتغل علىٰ مبدأ الانبعاث الضوئي . إن كلًا من صمام التصوير التلفزيوني Vidicon والصمام التلفزيوني اللاقط orthicon هو صمام خزن ، ويستفيدان في عملهما من الشحنات الكهربائية المتولدة من الضوء الساقط خلال الفترات الزمنية الطويلة نسبياً بين عمليات المسح المتتابعة للصورة . وكلا النوعين من صمامات الكاميرا ، هما بشكل أساسي وسائل نهارية حيث يعملان في حالات ضوء النهار إلى حالات الغسق . ومع ذلك فمن الممكن إنتاج أنواع أساسية مختلفة تعمل في مستويات الضوء المنخفضة كثيراً .

ب . صمامات التصوير التلفزيوني : Vidicons

يمكن تحسين استجابة جهاز Vidicon القياسي للضوء المنخفض ، وذلك بإدخال طبقات مختلفة من الموصلية الضوئية علىٰ الهدف . ومن هذه الطبقات مصفوفة الدايود السليكوني وهو الأكثر حساسية . ويمكن زيادة الحساسية بإضافة مكثفات الصورة في مقدمة صمام الكاميرا ، ولكن علىٰ حساب خصائص أخرىٰ مثل قدرة التفريق . والاتجاه البديل هو بناء قسم تشكيل الصورة في صمام الكاميرا نفسها . وهذا مشابه لمكثف الصورة أحادي المرحلة ، ويعطي ارتفاعاً في المتغيرات التي تلي صمام التصوير التلفزيوني ويحصل صمام التصوير التلفزيوني للتوصيل الإلكتروني الثانوي ، علىٰ الاستجابة الكبيرة الخاصة به من

طريق إنتاج الإلكترون الثانوي ضمن مادة الهدف . وفي صمام التصوير التلفزيوني ، ذي خاصية القصف الإلكتروني ، يمكن الحصول علىٰ حساسية كبيرة جداً خلال الموصلية الكبيرة المحتثة في الهدف بواسطة قصفه بالكترونات ضوئية ذات طاقة عالية . ويعتبر صمام الموصلية المحتثة للقصف الإلكتروني(٤) EBICON شكلاً واحداً من أشكال الصمامات المستخدمة في الكاميرات التلفزيونية ولكن الصمام الأكثر حساسية هو الصمام(٥) Ebsicon الذي يستخدم مصفوفة الدايود السليكوني المشار إليه سابقاً . ويمكن استخدام مثل هذه المتغيرات مع مراحل مكثف الصورة .

جـ . صمامات الكاميرا : orthicons و Isocons

يكون الصمام orthicon (٥) الصوري أكبر وأكثر تعقيداً من صمام Vidicon ويعطي جودة عالية في الأداء في ضوء النهار . وقد تم تطوير صمام isocon الصوري لأغراض العمل في الضوء المنخفض ، وهو تطور مستمد من صمام orthicon . ويوفر صمام isocon قدرة تفريق ممتازة ويُقارن مع صمامي Ebsicon و Vidicon للتوصيل الإلكتروني الثانوي في الأداء عند الضوء المنخفض . كما يمكن استخدامه مع مراحل مكثف الصورة أمام صمام الكاميرا .

د . منظومات التصوير ذاتية المسح ـ وسائل تقارن الشحنة :

تم خلال العقد الأخير تطوير نوع جديد من دائرة سليكونية متكاملة والتي أثرت علىٰ تصميم الكاميرات التلفزيونية لأغراض محددة ، من طريق عرضها لأجهزة صغيرة وصلدة أكثر بكثير .

وجهاز قارن الشحنة CCD ، يخزن معلومات ذات كثافة عالية ، وبسعة حوالي (١٠^٥) رقم ثنائي / سم٢ ($bits/cm^2$) ووجد تطبيقه الرئيسي في منظومات الحاسبة . ويتم خزن المعلومات علىٰ شكل شحنات كهربائية في مصفوفة طولية أو مصفوفة ذات بعدين على شكل قطبين متقاربين . وبالتالي فإن الشحنات

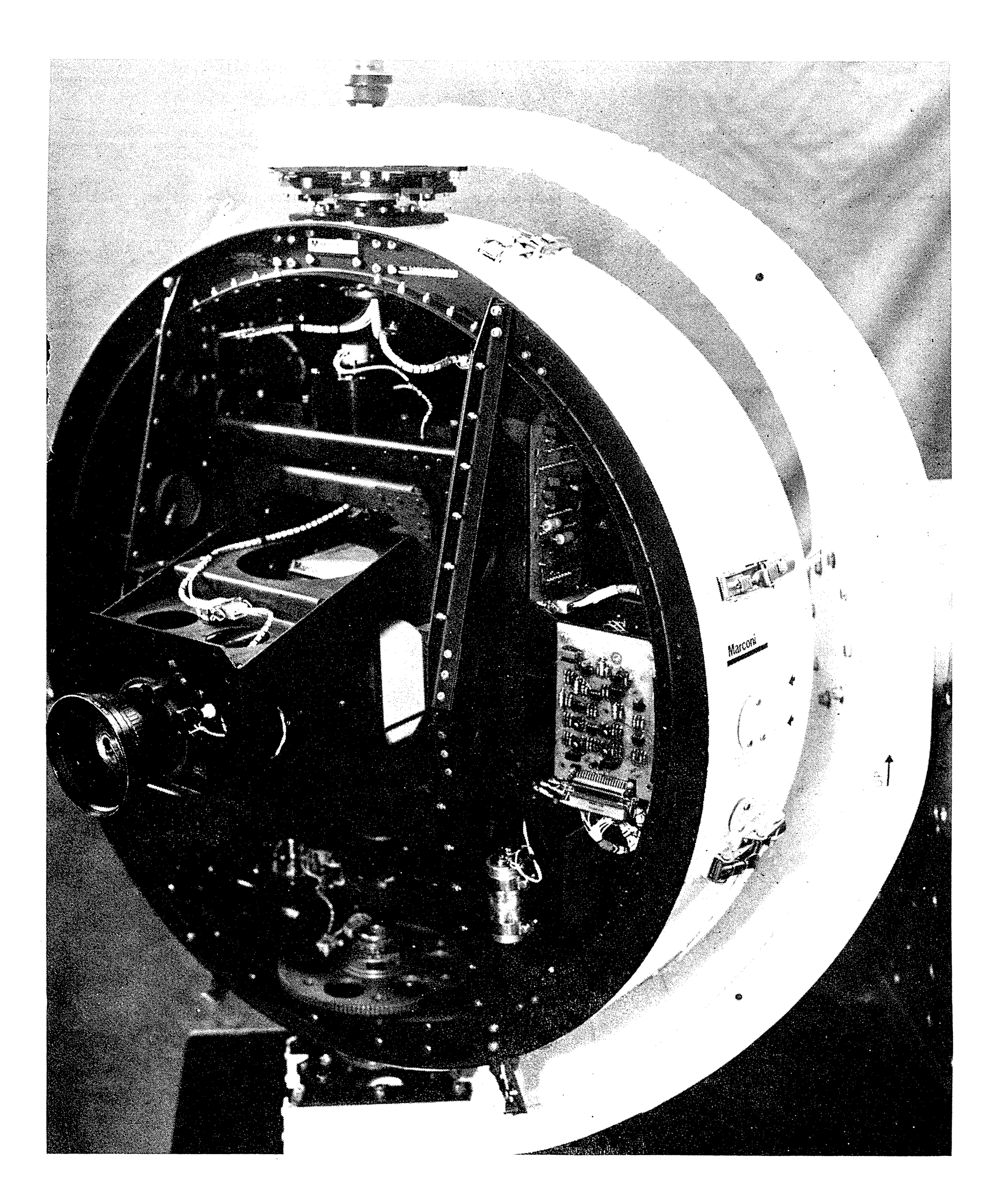
المخـزونة يمكن نقلهـا إلىٰ الخرج output بـالتتابـع بطريقـة تسليط نبضات متسلسلة .

ويمكن إدخال الإشارات إلى جهاز قارن الشحنة إما كهربائياً أو بصرياً ، وبالتالي فإن جهاز قارن الشحنة قد يستخدم كأجهزة تصوير بصرية ذات حالة صلبة والتي لا تتطلب عملية مسح بواسطة الحزمة الإلكتـرونية . وهـذا يلغي الحاجة إلىٰ التيار الطويل نسبياً ، وصمامات الكاميرا التلفزيونية المفرغة بدرجة عالية ، والحاجة إلى القدرة الرئيسية .

ويصنع جهاز قارن الشحنة من السليكون الذي يفيد من استخدامـه في المنطقة القريبة من دون الحمراء إلى حوالي (١,١) متر . من ناحية ثانية فإن استجابة السليكون في الأطوال الموجية هذه يكون متقدماً علىٰ أغلب الكاثودات الضوئية (راجع Ebsicon) بحيث تكون كاميرات CCD مفيدة تحت حالات الضوء المنخفض . والأبعاد النموذجية لواحدة من هذه الكاميرات الصغيرة تكون بحدود (١ سم × ٨ سم × ٥ سم) ووزنها أقل من (١ كفم) بدون بطارية أما أداؤها فيقترب من أداء الكاميرا التقليدية .

هـ . التطبيقات :

لقد أصبح واضحاً أن المدىٰ الواسع لصمامات الكاميرا قد أصبح شيئاً متيسراً . واختيار الصمام لمهمة خاصة يعتمد علىٰ دقة الخصائص المطلوبة . ولتلفزيون الضـوء المنخفض مدىٰ واسـع من التطبيقـات . ومع القـابلية علىٰ السيطرة علىٰ الكاميرات من بُعد ، فإن تلفزيون الضوء المنخفض يعتبر مثالياً لمهمات المراقبة الساكنة . كما ويستخدم أيضاً في دبابات القتال الرئيسية مثل دبابة ليـوبارد الكنـدية . أمـا التطبيق الحـديث لهذا التلفـزيون فهـو في جهاز Hele-Téle الـذي يستخدم في المراقبة الجوية للحشود والحركة الجوية ، كما يثبت أيضاً في عدد من الـطائرات العسكـرية لأغـراض الطيـران الليل شكـل (٣ - ٩) .



شکل (۳ ـ ۹) جهاز Hele-Tele

٦ ـ الرؤية المعززة بالليزر . (LEV) :

أ . مبدأ العمل :

بالنسبة لتطبيقات معينة في الليل أو عندما يكون هناك ضـوء قليل أو لا يوجد ضوء طبيعي ، فمن الضروري إضـاءة المشهد بضـوء اصطنـاعي لتمييز وتعريف التفاصيل . ويمكن استخدام الناريات والأضواء الكاشفة من بُعد لهذا الغرض . وللاستخدامات الأخرىٰ يكون من الملائم توحيد المنظار والمصباح المضيء وفي هذه الحالة يكون مطلوباً مصدر ضوئي نبضي ومنظار ذو مصدات بحيث يتم تقليص تأثير الضوء المستطار خلفياً من الجو ، وإلا فإنه سيؤثر علىٰ تباين الصورة . ومبدئياً فإن المنظار يبقىٰ في حالة إطفاء إلىٰ حين انعكاس نبضة الإضاءة مرة أخرىٰ من الهدف . بعد ذلك يُشغل المنظار لفترة زمنية قصيرة .

ب . مصابيح الإضاءة الليزرية .

يقدم مصدر الليزر أفضل حل لمصباح الإضـاءة النبضي ويمكن دراسة أنواع المضيئات الليزرية مثل الياقوتي والغاليوم أرسنايد والنيو ديميوم . والياقوتة (٠,٦٩ مايكرومتر) تكون مثالية في ملاءمة استجـابة الكـاثود الضـوئي ولكنها تستخدم فقط في ترددات تكرار النبضة المنخفضة والذي ينتج منه تلألؤ بيِّن في المنظار . ويمكن اختيار النيوديميوم ولكن خصائص الانبعاث عند طول موجي (١,٠٦) مـايكرومتـر هي خارج استجـابة الـذروة للكـاثـود الضـوئي لمكثف الصورة . كما أنه يحتاج إلىٰ تبريد . وهكذا فإن المصباح المضيء **illuminator** الأكثر شيوعاً في هذا النوع من المنظومة ، هو ليزر الغاليوم أرسنايد مع خاصية طول موجي (٠,٨٤) مايكرومتر .

جـ . النواظير :

إن كلًا من تلفزيون الضوء المنخفض ومكثفات الصورة ، تستخدم في الـرؤية المعـززة بالليـزر . ويتقبل المكثف الإلكتـرونات النـاتجة عن الضـوء المنعكس من المنطقة المجاورة للهدف .

د . الإمرار الإنتقائي :

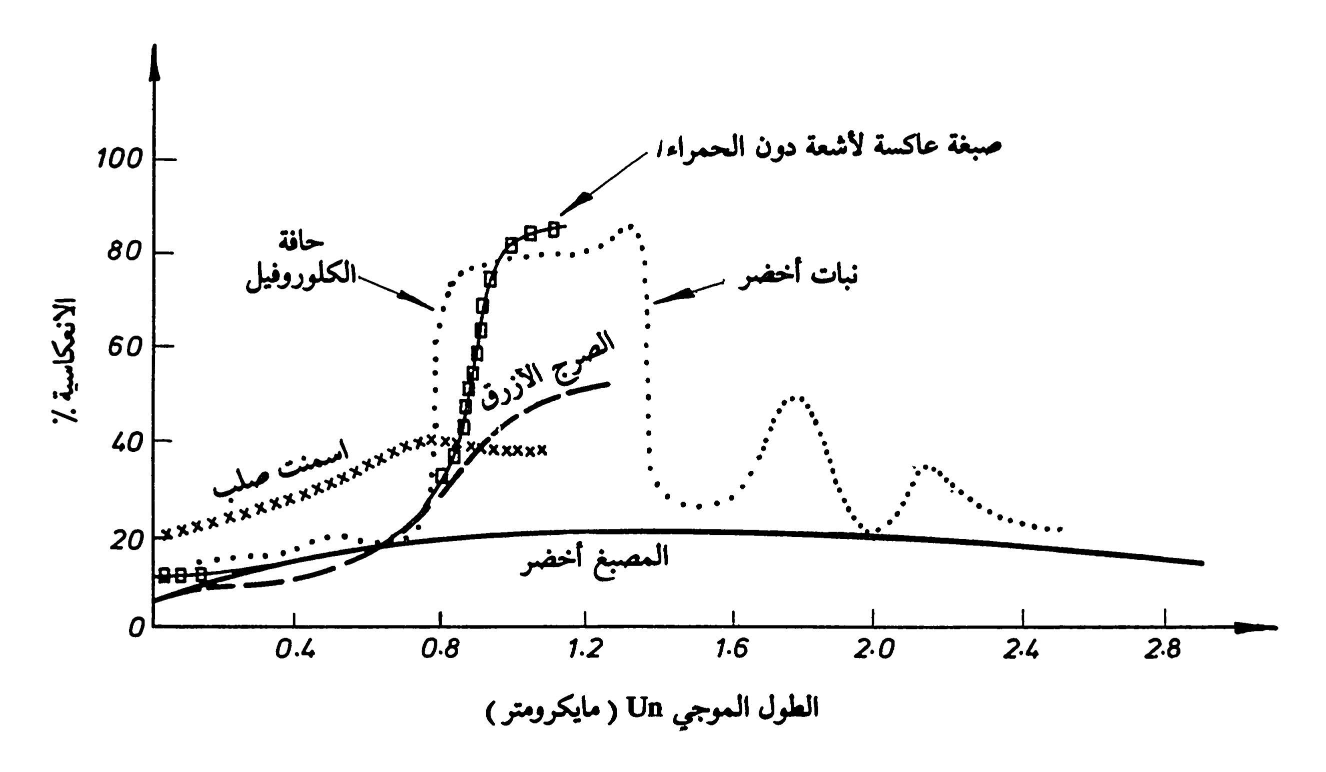
هناك عدة طرق متاحة للإمرار الإنتقائي لمكثف الصورة . والصمامات القياسية قد تكونْ ذات مصدات بواسطة النبض بين الكاثود الضوئي والآنود أو علىٰ جانبي لوح القناة المايكروي في حالة صمام القناة المايكروي . وتتواجد الصمامات الخاصة مع شبكة الإمرار الإنتقائي بالقرب من الكاثود الضوئي . وتسمح هذه المنظومة بمعدل نبضي أسرع واستهلاك أقل للقدرة .

هـ . الاشتغال :

من الضروري ، حالما يتم استمكان الهدف ، تنظيم زمن التأخير بين تشغيل المصباح المضيء وتشغيل المنظار ، بحيث يكون المنظار في حالة تشغيل في الوقت الذي يصله الضوء من المصباح المضيء المنعكس من الهدف . وعند إنجاز هذه المهمة يقال للهدف ، إنه في بوابة المدىٰ ، وهو مصطلح يستخدم في الرادار حيث يستخدم نفس التقنية . وإذا كان الهدف ضمن بوابة المدىٰ فسوف يضاء كليةً ، واعتماداً علىٰ الإنعكاسية ، يمكن ملاحظة التفاصيل النوعية . معْ ذلك إذا كانت للخلفية إنعكاسية مماثلة للجسم لغرض رؤيته ، فإن التباين الكلي سيكون منخفضاً وقد يضيع حد شكل الهدف . وبتنظيم زمن التأخير بحيث يصبح الهدف بالضبط أمام بوابة المدىٰ ، فإن الطاقة المنعكسة فقط من الخلفية ستكون مقبولة المنظار وستتم رؤية الجسم كصورة شبحية ذات تباين عالٍ .

و . الإنعاكسيَّة :

إن واحدة من محاسن استخدام الوسائل البصرية والإلكتروبصرية للمراقبة ، هي أن الصورة الناتجة مشابهة جداً للصورة المدركة بالعين المجردة . وهكذا فمن السهولة تفسير الصورة وليست هناك حاجة لتدريب مشغل . والرسم التخطيطي في الشكل (٣ ـ ١٠) يوضح أن هناك زيادة معلومة في انعكاسية نمو النبات الأخضر للأشعة دون الحمراء بين (٠,٨) مايكرومتر و (١,٣) مايكرومتر . وسبب هذا هو الكلوروفيل الموجود في كل نبات أخضر حي .



شكل (٣ ـ ١٠) انعكاسية النبات الطبيعي

ويستخدم الصبغ الأخضر الاعتيادي للمركبات العسكرية لأنه عند الأطوال الموجية البصرية له انعكاسية مشابهـة للنبات . وهكـذا فإن العجـلات سوف تنـدمج مـع الخلفيَّة . ولكن لـدىٰ مشاهـدتها من خـلال مكثف الصورة فمن الممكن أن تبرز العجلة من الخلفية بسبب الفـارق البين في الإنعكاسيـة في الأشعة القريبة من دون الحمراء . وهذا هو السبب في تطوير الصبغ العاكس بالقرب من الأشعة دون الحمراء والإنعكاسية التي تلائم إنعكاسية النبات في كل من الأطوال الموجيـة البصريـة ، والأطوال المـوجية القـريبة من الأشعـة دون الحمراء .

٧ ـ الخلاصة :

يُعتَبَرُ تكثيف الصورة تقنية متطورة لتعزيز أداء العين في مستويات الضوء المنخفض . ولا تـوفر مكثفـات الصورة جـواباً كـاملاً لكـل الظروف الجـوية ولمعضلة المراقبة ليلاً ونهاراً لأنها تتأثر بشكل كبير بالأحوال الجوية السيئة كما

في الرؤية الاعتيادية . وتعول مكثفات الصورة علىٰ بعض الضوء المحيط خلال عملها ، كما أنها تكون ضخمة في المراقبة طويلة المدىٰ . من ناحية ثانية وفي حالات التشغيل لمدىٰ قصير فإنها تكون صغيرة وخفيفة وتعمل كمسددات ليلية مثالية للأسلحة قصيرة المدىٰ ومساعدات الرؤية قصيرة المدىٰ . وهي أيضاً رخيصة الثمن مقارنة بوسائل التصوير الحراري . وهكذا ، فإن مكثفات الصورة ستستمر في وجودها علىٰ ساحة المعركة للعمل قصير المدىٰ حيثما يكون الحجم والكلفة قيوداً مهمة .

الهوامش

(١) **اللون النصفي.** halftone.

لون في التصوير الزيتي أو الفونوغرافي ليس بالداكن جداً ولا بالفاتح جداً .

(٢) **النور اللصفي.** (التفلور) .

إطلاق نور ناشىء عن امتصاص الاشعاع من مصدر آخر .

(٣) **الفيديكون** Vidicon .

صمام كاميرا تلفزيونية يتشكل فيها كثافة شحنات بالتوصيل الضوئي وتخزن على سطح موصل ضوئي الذي يتم مسحه بحزمة ألكترونية، عادة ما تكون معروفة بالألكترونات بطيئة السرعة .

(٤) **صمام إيبكون** EBICON (الموصلية المحتثة بالقصف الألكتروني) .

صمام كاميرا تلفزيونية يختلف عن صمامات الأورتكون (orthicon) والفيديكون (Vidicon)وبشكل رئيسي في تركيب الهدف الخاص بها .

(٥) **الصمام أورثكون.** orthicon

صمام كاميرا حيث تقوم حزمة من الكترونات بطيئة السرعة بمسح سطح الإبتعاث| الفسيفسائي الكهروضوئي بتأثير الضوء ، القادر على خزن شكل الشحنات الكهربائية .



«الفصل الرابـع»

أجهزة التصوير الحراري

١ ـ التصوير الحراري:

إن كل الاجسام تمتص وتبعث الإشعاع علىٰ مدىٰ متواصل من الأطوال الموجية التي تعتمد علىٰ درجة حرارة الجسم . وغالباً ما يدعىٰ هذا الإشعاع الطبيعي بإشعاع الجسم الأسود . ويظهر بشكل رئيسي في الأجزاء دون الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي . إن إمكانية كشف الأجسام خلال إشعاع الجسم الأسود الخاص بها ، قد تم بحثها قبل الحرب العالمية الثانية ١٩٣٩ ـ ١٩٤٥ في كل من ألمانيا وإنكلترا . في عام ١٩٣٩ كانت كل من تقنية الأشعة دون الحمراء والرادار في مستهلها . ولم يجرِ التأكد أيٌّ منهما سيقدم الحل الأفضل . وتم إختيار الرادار كجهاز ينتظر له مستقبل مرموق من قبل إنكلترا . بينما أختيرت الأشعة دون الحمراء في ألمانيا ، وخاصة من قبل البحرية . وكنتيجة لذلك تقدمت تقنية الأشعة دون الحمراء في ألمانيا بشكل معقول في نهاية الحرب .

ومنذ نهاية الحرب ، كان هناك تطور في تقنية الأشعة دون الحمراء لمواجهة الحاجات العسكرية لتوجية الصواريخ ووسائل الرؤية الليلية لإضافة مكثفات الصورة .

وتعمل مكثفات الصورة في الأطوال الموجية إلى حد (١,٢) مايكرومتر وتعتمد في فعاليتها علىٰ مستوىٰ الإشعاع المحيط . ويمكن تحسين أداء مكثفات الصورة باستخدام الإضاءة الإصطناعية ، إما بضوء أبيض ، أو إضاءة

بالأشعة دون الحمراء ، أو رؤية معززة بالليزر ولكن مثل هذه المنظومات الفعالة تكشف وجود الراصد للعدو الذي يكون أيضاً مجهزاً بوسائل الرؤيـة الليلية . ولقد تركز الاهتمام على وسائل الرؤية السلبية والتي تفيد من إشعـاع الجسم الأسود المنبعث من الهدف .

٢ ـ إشعاع الجسم الأسود :

إن العلاقات الفيزياوية التي تصف الإشعاع الحراري المنبعث من مشع مثالي أو جسم أسود يمكن عرضها بقانون ستيفان ـ بولتزمان ، وقانون بلانسك وقانون إزاحة وين Wien .

أ . قانون ستيفان ـ بولتزمان :

ينص القـانون علىٰ أن القـدرة المشعة من وحـدة مساحـة لجسم أسود محفوظ في درجة الحرارة المطلقة (T) علىٰ ما يلي :

$$W = \delta\ T^4$$

حيث W الانبعاثية المشعة الكلية . واط سم$^{-٢}$. Wcm^{-2} .

δ = ثابت ستيفان ـ بولتزمان (٥,٦٧ × ١٠$^{-١٢}$) واط سم$^{-٢}$.

T = درجة الحرارة المطلقة . گلفن . K^o .

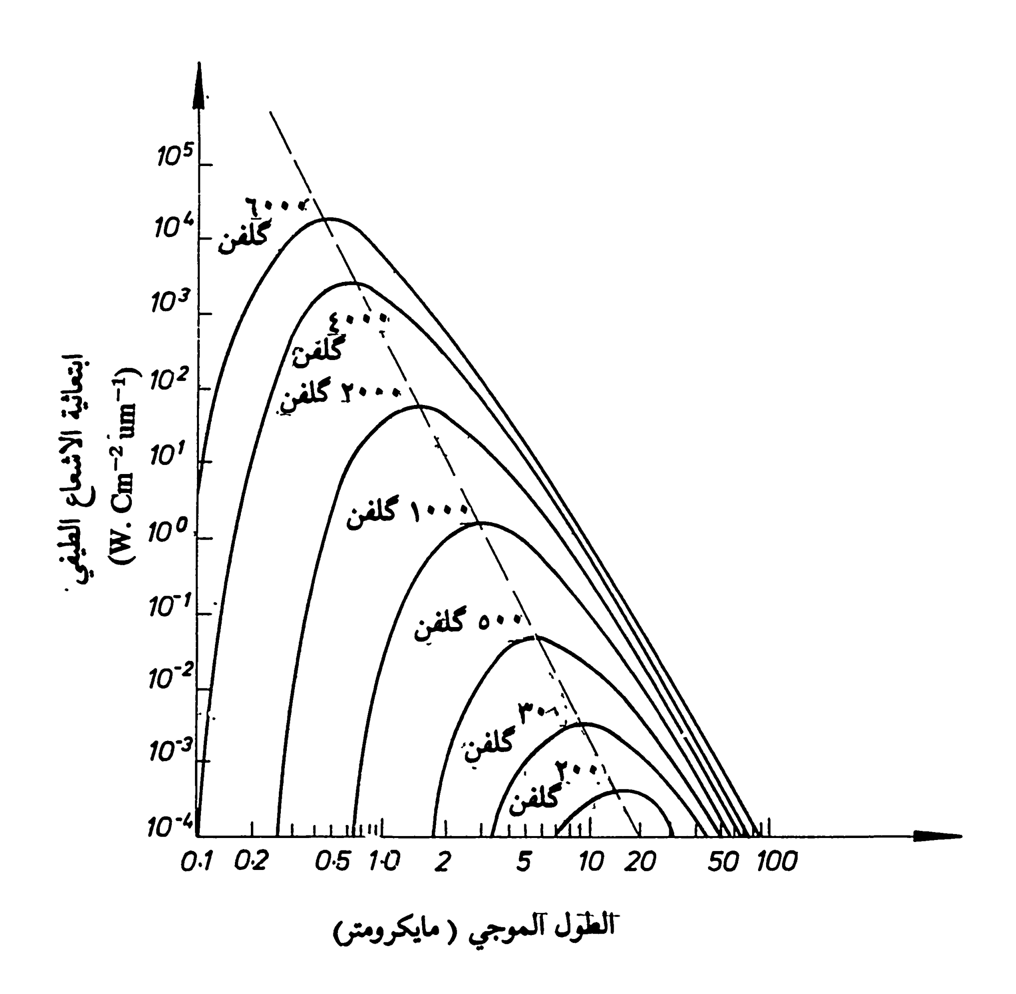
ب . قانون بلانك :

يعطي القانون التركيب الطيفي للإشعاع المنبعث من الجسم الأسود عند درجة حرارة معلومة . وهو دالة رياضية معقدة ومُمَثلة بشكـل جيد في الـرسم البياني في الشكل (٤ ـ ١) .

جـ . قانون إزاحة وين :

وينسب هذا القانون الطول الموجي (λ) متر الـذي يماثـل ذروة منحنىٰ الإشعاع في الشكل (٤ ـ ١) لدرجة حرارة معلومة (T) .

$\lambda^2 mT$ = ثابت = ٢٨٩٧ م. گلفن.



شكل (٤ ـ ١) إشعاع الجسم الأسود

إذن بـالنسبة لجسم في درجـة حـرارة (٣٠٠) گلفن (٢٧ م°) فـإن λm = ١٠ م
وبالنسبة لجسم في درجة حرارة (٣٠٠) گلفن فإن λm = ١م .

ويُظهر الرسم البياني في الشكل (٤ ـ ١) عدداً من الحقائق المهمة حول إشعاع الجسم الأسود . وكلما كان الجسم أكثر حرارة ، كلما ازدادت الطاقة التي يشعها إجمالاً عند طول موجي معلوم . وكذلك فإن الجسم الأكثر حرارة يبدأ بالإشعاع علىٰ مدىً كبير من الأطوال الموجية وتظهر ذروة إشعاعه في أقصر طول موجي .

هذه العلاقات الرياضية هي للمشعـات radiators المثاليـة . ولكن من الناحية العملية فإن أغلب الأجسام لا تشع بفعـالية ، وهكـذا فمن الضروري

الأخذ بنظر الاعتبار ابتعاثية السطح (∈) حيث أن ∈>> دائماً (أقل من واحد) .
إذن بالنسبة لجسم عملي :

$$W = \epsilon \lambda T^4$$

وتعتمد (∈) علىٰ مادة الجسم والطول الموجي ، وعلى درجة الحرارة بشكل أقل . ولأغلب الفلزات مثلاً ، إشعاعيات منخفضة ، حوالي من (٠,٤) عند طول موجي (١) مايكرومتر نزولاً إلى (٠,٠٤) عند طول موجي (١٠) مايكرومتر . من جانب آخر تميل الفلزات لأن تكون عاكسات ممتازة للأشعة دون الحمراء ، بينما لا يميل أي فلز إلى أن يكون عاكساًضئيلاً خاصة عند الأطوال الموجية الطويلة .

إن فعالية السطح كمشع تعتمد علىٰ درجة حرارته . ومن الناحية العملية تتأثر درجة الحرارة هذه بعدة عوامل تتضمن الإشعاع الساقط ومصادر الحرارة المجاورة ، قوة الإمتصاص للسطح (الممتصية absorptivity) ، الموصلية الحرارية والسعة الحرارية للمادة ثم بالطبع حجم وشكل ومادة الهدف . كما أن لكل من الظروف المحيطة ، مثل نقل البرودة والحرارة بواسطة الريح ، والتبريد بالمطر أو تكثيف الندىٰ والتبخر اللاّحق ، تأثيراتها المهمة .

وتعمل منظومة المراقبة على كشف وجود الهدف نتيجة التباين أو عدم التواصل في خلفية الهدف . ويظهر التباين في الجزء المرئي من الطيف بسبب التغييرات الإنعكاسية في المشهد . والتشابه الجزئي في الجزء الحراري من الطيف ليس بسيطاً تماماً لأن الإشعاع الحراري الآتي من أية نقطة في المشهد هو مجموع ما ينبعث من الجسم الأسود من تلك النقطة ، وإنعكاس الإشعاع الحراري المحيطي من الأجسام المجاورة والتي أيضاً تسقط علىٰ المشهد . وهكذا يبرز التباين الحراري من مجموع التغيرات في كل من الابتعاثية (∈) والانعكاسية (r) . من ناحية ثانية فإن $\epsilon + r = 1$ وبذلك فإن التغييرات في الخاصيتين تحذف عندما تكون كل النقاط في المشهد بنفس درجة الحرارة . وهذه حالة نادرة جداً وينشأ التباين الحراري من تغييرات درجة حرارة المشهد .

وفي الوقت الذي تكون فيه هذه التغييرات صغيرة ، فإن الإنبعـاث الإشعاعي لجسمين عند درجات حرارة متقاربة ، سيكون مختلفاً بشكل كبير لأن الإنبعاث الإشعاعي يتناسب مع الأس الرابع لدرجة الحرارة .

وتنخفض درجة التباين مع زيادة المدىٰ بواسطة الإشعاع غير المطلوب المتبعثر في نفس طريق الإشعاع المطلوب . وبالنسبة للمديات الكبيرة يتناقص التباين أسياً مع المدىٰ . وهذه هي الحالة في الإشعاع البصري ، ويُعرَف مدىٰ الإبصار بأنه المدىٰ الذي يهبط عنده التباين إلىٰ (٢٪) وهو الحد الأدنىٰ للعين . وبالنسبة للإشعاعات دون الحمراء ، فإن التبعثر يكون أقل بكثير ، خاصة عند الأطوال الموجية الطويلة ، ولذلك فـإن أجهزة التصـوير الحـراري تستطيـع ، عموماً ، أن تكون أوسع مدىٰ من منظومات الإبصار بشرط أن لا تكون التغييرات في درجة حرارة المشهد صغيرة جداً . ولأجل الأداء المُرضي فإن جهاز التصوير الحراري يجب أن يكون قادراً علىٰ كشف فروقـات درجة الحـرارة الأقل من (٠,٥) م°.

٣ ـ إرسال اشعاعات دون الحمراء خلال الجو:

من المهم لأية منظومة إرسال تعمل علىٰ مديات طويلة ، فهم الـطريقة التي يؤثر فيها وسط الإرسال علىٰ الأشعاع . في حالة منظومات المراقبة دون الحمراء فإن المديات قد تكون عـدة عشرات من الكليـومترات (للمنـظومات الجوية) ويكون وسط الإرسال هو الجو . إن العاملين اللذين يؤثران علىٰ إرسال الإشعـاعات دون الحمـراء خلال الجـوواللذين يسببان التـوهين همـا التبعثـر (التشتت) والامتصاص .

أ . الاستطارة (التشتت) :

تنشأ الإستطارة بسبب جزئيات الوسط ، وفي حالـة الجو بـوجود دقـائق الغبار ، الدخان ، الضباب ، المطر ، أو الجليد . وتعتمد كمية الاستطارة علىٰ الطول الموجي للإشعاع وحجم الدقائق (الجسيمات) وتركيزها ، وكذلك علىٰ

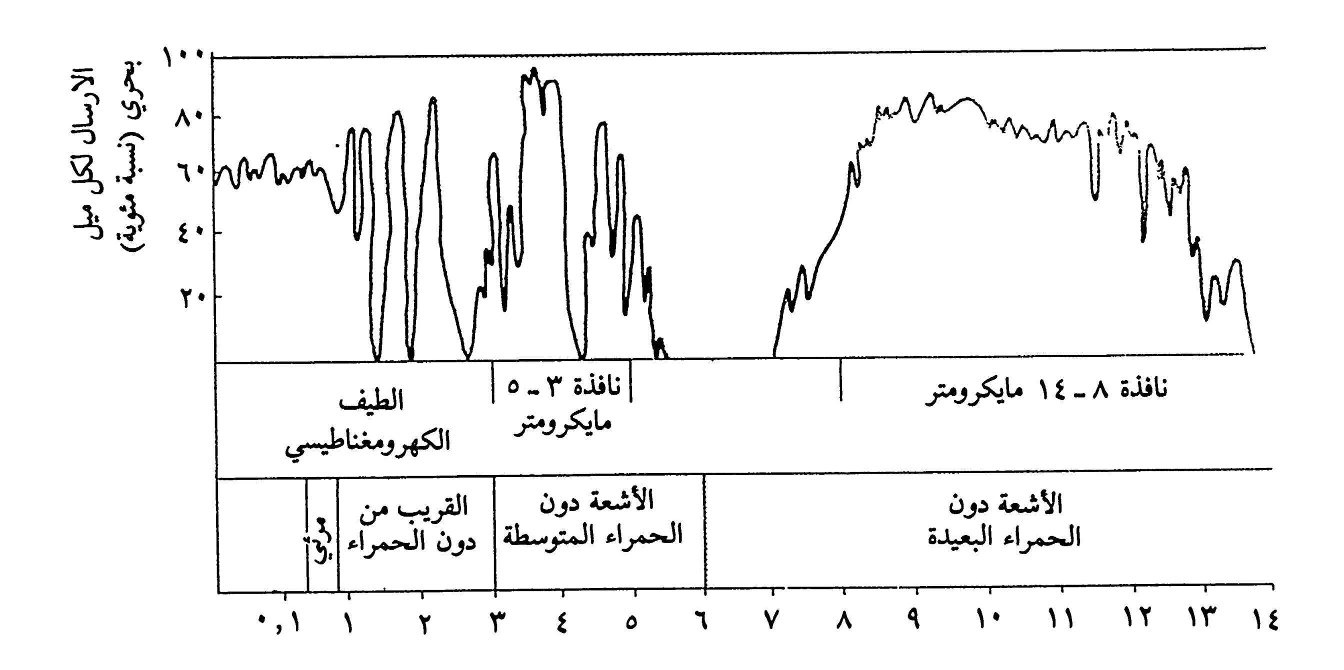
معامل الإنكسار للجُسيم . وبالنسبة للإرسال دون الحمراء خلال الجو في نطاق طـول موجي من (١) إلى (٢٠) مـايكرومتـر فـإن القسم الأعـظم والمهم من الاستطارة ينشأ نتيجة للجسيمات التي حجمها بقدر الطول الموجي للإشعاع . وهكذا فإن الضباب والغيوم والغبار والمطر ، تعتبر معضلة حيث تمتد حجـوم الجُسيمات من حوالي (١) إلىٰ (٥٠) مايكرومتر. وحيث أن الطول المـوجي للإشعاع أكبر بكثير من حجم الجُسيم فإن هناك استطارة قليلة نسبياً .

وهكذا ففي رذاذ المطر ، حيث يكون حجم الجُسيم بمقدار (٢) أو (٣) مايكرومتر ونقصان كبير في مدىٰ الإبصار ، فإن المنظومة الحرارية التي تشتغل علىٰ طول موجي (٨ ~ ١٣) مايكرومتر ستتأثر بشكل قوي . ولكن إذا استمر رذاذ المطر وازداد حجم هطول الماء بمقدار (١٠) مايكرومتـر أو أكثر ، فـإن المدىٰ الحراري سيهبط ولن يتخطىٰ مدىٰ الإبصار .

ب . الامتصاص:

تمتص جزئيات الوسط الإشعاع الكهرومغناطيسي عند الأطوال الموجية المميِّزة . وفي حالة الجو فإن الجزء الأساسي الذي يُمتص بقوة في الأنطقة دون الحمراء هو ثاني أوكسيد الكاربون وبخار الماء ، وإلى حدٍ ما الأوزون. ويبين الشكل (٤ ـ ٢) منحنىٰ الإرسال النموذجي ويلاحظ أن هناك أنطقة محددة من الأطوال الموجية يكون عندها الجو ذا امتصاصية عالية جداً . وهناك أيضاً ثلاث « نوافذ » في الجو ـ واحدة تغطي الجزء المرئي من الطيف والإثنتين الأخريين في المنـطقة دون الحمـراء من (٣) إلىٰ (٥) مايكـرومتر ومن (٨) إلىٰ (١٣) مايكرومتر . وبوضوح فإن أية منظومة حرارية يجب أن تعمل في واحدة من هاتين النافذتين لغرض الإرسال بشكل كفوء .

ومن الحيوي في محيط الإرسال استخدام عناصر مثل العدسات والتي تكون شفافة عبر مدىٰ الطول الموجي المستخدم . ومن الجدير بالملاحظة أن الزجاج لا فائدة منه البتة لأنه مُعتم تماماً لإشعاع الأطوال الموجيـة الأكبر من (٢,٧) مايكرومتر . وهناك عدد من المواد التي تكون شفافة للإشعاعات دون



شكل (٤ ـ ٢) النوافذ الجوية

الحمراء ولكن الكثير منها غير ملائم لاستخدامها في المعدات العسكرية . والمادة ذات الاستخدام الشائع هي الجرمانيوم ؛ والعدسات الشيئية الكبيرة المصنوعة من هذه المادة تكون غالية الثمن .

جـ ـ ٨ كاشفات الأشعة دون الحمراء :

يمثل الكاشف العنصر الرئيسي في أية منظومة مراقبة دون الحمراء أما بقية المعدات فتبنىٰ من حواليه . إن استخدام ظاهرة الإنبعاث الضوئي كاشف الإشعاعات دون الحمراء للأطوال الموجية الأكبر من (١,٢) مايكرومتر ؛ غير ممكن لأن طاقة الفوتون دون الحمراء عند الأطوال الموجية الطويلة تكون أقل من أصغر دالة للشغل معروفة في الوقت الحاضر . وهناك نوعان رئيسيان هما الكاشفات الحرارية والكاشفات الفوتونية .

د . الكاشفات الحرارية :

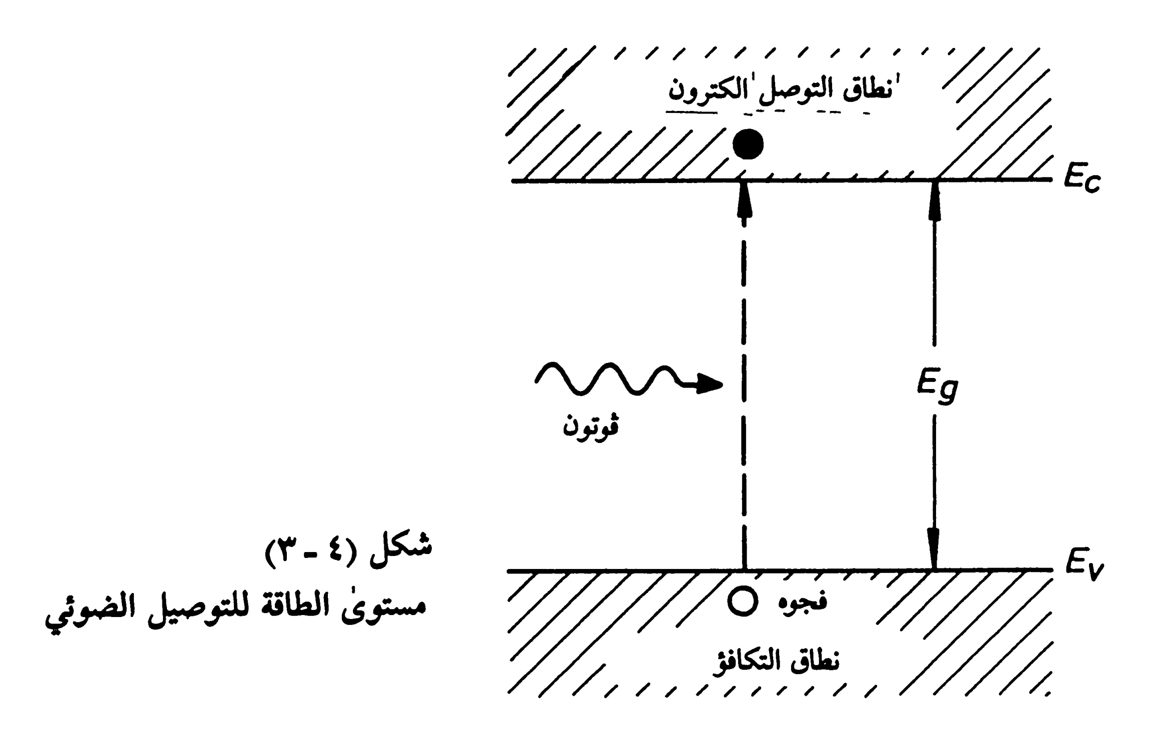
تستجيب الكاشفات الحرارية للإشعاع ، وذلك بقياس معدل إمتصاص

الطاقة . والارتفاع اللاحق لدرجة الحرارة ينتج بعض التبدل الفيزياوي مثل القوة الدافعة الكهربائية الحرارية ، وتبدل المقاومة أو زيادة في الضغط لحجم صغير من الغاز . ولا تعتمد استجابة هذه الكاشفات علىٰ المحتوىٰ الطيفي للإشعاع ؛ فهي تستجيب بصورة متساوية وجيدة لكل الأطوال الموجية . ولكن وحيث أن الوقت المستغرق للوصول إلىٰ التوازن الحراري يعتمد علىٰ السعة الحرارية للمنظومة ، فإن استجابة الكاشفات ستكون بطيئة حتماً مما يجعلها غير مناسبة لكشف الأهداف المتحركة . وكنتيجة ، فإنها نادرة الوجود في المنظومات العسكرية باستثناء الكاشفات الكهروحرارية والمستخدمة الآن بنجاح بالاقتران مع صمامات التصوير التلفزيوني Vidicon .

هـ . الكاشفات الفوتونية :

تعانيٰ عدة مركبات شبه موصلة من انخفاض في المقاومة الكهربائية عند امتصاصها للفوتونات والتي تزيد طاقتها عن القيمة اا حرجة . ويدعىٰ هذا بالتوصيل الفوتوني ، وهي الطريقة الواسعة الانتشار لكشف الإشعاعات دون الحمراء . وفي كل المواد فإن الالكترونات في الجزئيات لها كميات متميزة من الطاقة . وفي المواد ذات الموصلات الجيدة هناك أعداد مهمة من الكترونات الطاقة العالية ضعيفة الإنجذاب نحو النواة . هذه الالكترونات تكون حرة نسبياً لتتحرك تحت تأثير الجهد المسلط ، والمادة الموصلة للكهربائية . وفي العوازل لا توجد الكترونات متاحة لتعمل كحاملات للتيار . وتكون جميع الالكترونات في أنطقة التكافؤ وتكون هناك حاجة إلىٰ طاقات غالية لكي تفلت الإلكترونات من أنطقة التكافؤ . وفي أغلب المواد شبه الموصلة يكون التوزيع الالكتروني لنطاق التوصيل صغيراً بينما تكون مقاومة المادة عالية . من جهة أخرىٰ ، فإن الفرق في مستوىٰ الطاقة بين أنطقة التوصيل والتكافؤ (فجوة النطاق E_g) ليس كبيراً جداً ، كما هو مبين في الشكل (٤ ـ ٣) .

ولغرض تبديل مقاومة المادة يجب رفع الالكترونات من نطاق التكافؤ إلىٰ نطاق التوصيل ، وذلك بتجهيزهما بكمية من الطاقة مساويةً على الأقل لكمية



شكل (٤ ـ ٣)
مستوىٰ الطاقة للتوصيل الضوئي

الطاقة المماثلة لفجوة النطاق . ويظهر النقصان في المقاومة إذا كانت $hf < E_g$. وإذا قيست E_g بألكترون فولت ، فإن الطول الموجي / الحرج الذي تظهر عنده الموصلية الضوئية ، يُعطىٰ بالصيغة التالية :

$$\lambda_c = \frac{1.241}{E_g} \text{ un } (\text{مايكرومتر})$$

من هنا ، كلما كانت E_g أصغر ، كلما كبرت قيمة λ_c . ويبين الجدول رقم (١) الأطوال الموجية الحرجة لعدد من المواد شبه الموصلة .

ومن المعادلة $\lambda_c = \frac{1,241}{Eg}$ يتضح أنه لكي يتم كشف الإشعاع عند (١٠) مايكرومتر ، فإنه يحتاج فجوة طاقة أقل من (١٢ , ٠) إلكترون فولت ، وإن تطوير المواد الملائمة تأخذ وقتاً كثيراً . وأكثر المواد أهمية هي تلوريد الكادميوم الزئبقي (CMT) ويكون مدىٰ استجابتها في الطول الموجي (٦ ـ ١٢) مايكرومتر .

الجدول رقـم (١)
الأطوال الموجية الحرجة (λ_c) التي تظهر عندها التوصيل الضوئي شبه الموصلات

المـادة	E_g (الكترون فولت)	λ_c (مايكرومتر)
السليكون	١,١	١,١
الجرمانيوم	٠,٧	١,٦٥
كبريتيد الرصاص	٠,٤	٣,١
سلينيد الرصاص	٠,٥	٢,٥
	٠,٢٢	٥,٦
الغاليوم أرستايد	١,٤	٠,٨٩
	٠,٢	٦,٢

و . الضوضاء في الكاشفات الضوئية :

يفـرض الضوضـاء حداً علىٰ قـابلية الكشف لأيـة منـظومـة . وأضعف الإشارات المطلوب كشفها يجب أن تولد خرجاً كبيراً بما فيه الكفاية لتمييزه عن الضـوضاء . والضـوضاء الحـرارية هي نتيجـة الحركـة العشوائيـة للشحنـات الكهـربائيـة في الكاشف : وهي دالـة لطاقـة الالكترونـات وتزداد مـع درجـة الحرارة . والتراوحات في عدد الشحنات الكهربائية الحاملة للتيار هي مصدر آخر من مصادر الضوضاء في أشباه الموصلات مع استجابة مـوجية طـويلة ، وسبب هذا وجود فجوة طاقة منخفضة ، وبإمكان الالكترونات أن تتحـرك من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل كنتيجة لطاقتها الحـرارية . والمصـدر الثالث لضوضاء الفوتون ، ليس دالة للكاشف ، ولكنه يبرز لأن فوتونات الإشعاع من المشهد تصل إلى الكاشف بطريقة عشوائية فتعطي زيادة في الضوضاء . وإذا أُزيلت كل مصادر الضوضاء الأخرىٰ فإن ضوضاء الفوتون هي التي تُحدد أداء

المنظومة . وتقلل تبريد الكاشف من الضوضاء المتولدة ضمن الكاشف ؛ وعندما يبرد الكاشف إلىٰ حوالي (٧٧) كلفن (درجة غليان النتروجين السائل) ، فقد تم الوصول إلىٰ حدود ضوضاء الفوتون .

ز . أداء كاشفات الفوتون :

عند تقرير أداء كاشف الفوتون فمن الضروري امتلاك بعض الوسائل لقياس الأداء . وبالأصل كانت تستخدم القدرة المكافئة للضوضاء (NEP) . وهي القدرة المشعة الساقطة علىٰ الكاشف المطلوبة لإنتاج خرج مساوٍ للضوضاء الخارج من الكاشف في غياب الإشارة . وتتضمن القدرة المكافئة للضوضاء الصغيرة كاشفاً جيداً والعكس بالعكس .

والمعيار الأكثر شيوعاً هو قابلية الكشف (D^*) . وهو مقياس لمنظومة التضخيم للكاشف لتوليد نسبة جيدة من الإشارة إلى الضوضاء ، من الإشارة دون الحمراء القياسية . ولذلك فبالإمكان فحصها في أي مختبر مجهز بأدوات قياس الأشعة دون الحمراء . وحيث أن إشارة المخرج من الكاشف نفسه تكون عادة صغيرة جداً ، فإن الاشعاع من مصدر الأشعة دون الحمراء يتم إيقافه أو تقطيعه بواسطة التوقيف الميكانيكي . وبهذه الطريقة يتم الحصول علىٰ إشارة متناوبة من الكاشف حيث تضخم بكل سهولة . إن الحجم أو المساحة الحساسة للكاشف (Ad) ، وعرض النطاق الترددي للمضخم ($\triangle$ f) بالإضافة إلىٰ نسبة الإشارة إلى الضوضاء ، كلها تحسب في مصطلح « قابلية الكشف » والذي يعرف علىٰ أنه :

$$D^* = \frac{Ad. \triangle f}{NEP} \quad cm\, h_z - \frac{1}{2} W^{-1}$$

وكلما كبرت D^* كلما كان الكاشف أحسن . وحيث أن ضوضاء الكاشف تقل بالتبريد ، لذلك تهبط NEP (القدرة المكافئة للضوضاء) والذي ينعكس في زيادة D^* . وتزداد الاستجابة الطيفية للكاشفات الضوئية (بالتباين مع الكاشفات الحرارية) مع الطول الموجي لتصل إلىٰ الطول الموجي / الحرج ،

أو تردد القَطْع (λ_c) عندما تهبط الإستجابة بسـرعة إلىٰ الصفـر . هذا السلوك توضحه حقيقة أن طاقة الفوتون المنفرد تتناقص مع زيادة الطول الموجي . فإن عدد الفوتونات لكل وحدة طاقة يجب أن يـزداد مع زيـادة الطول المـوجي . وتتناسب الإستجابة الطيفية مع عامل D^* وتـرسم منحنيات الإستجـابة للطيف للـ D^* مقابل الطول الموجي . ويبين الشكل (٤ ـ ٤) منحنيات الإستجابة لبعض الكاشفات المهمة بالاقتران مع حدود ضوضاء الفوتـون لـ ٢٩٠ كلفن . وتبين دراسة المنحنيات أن قيمة D^* لكاشف معين تزداد تقريباً بشكل خطي مع هبوط (λ) بشكل فجائي بالقرب من تردد القطع وتزداد عند تبريد الكاشف . كما تزداد قيمة D^* كلما نقصت درجة الحرارة ، وتصل عملياً إلىٰ حدود ضوضاء الفوتون في بعض الحالات .

٤ ـ منظومات الأشعة دون الحمراء البعيدة :

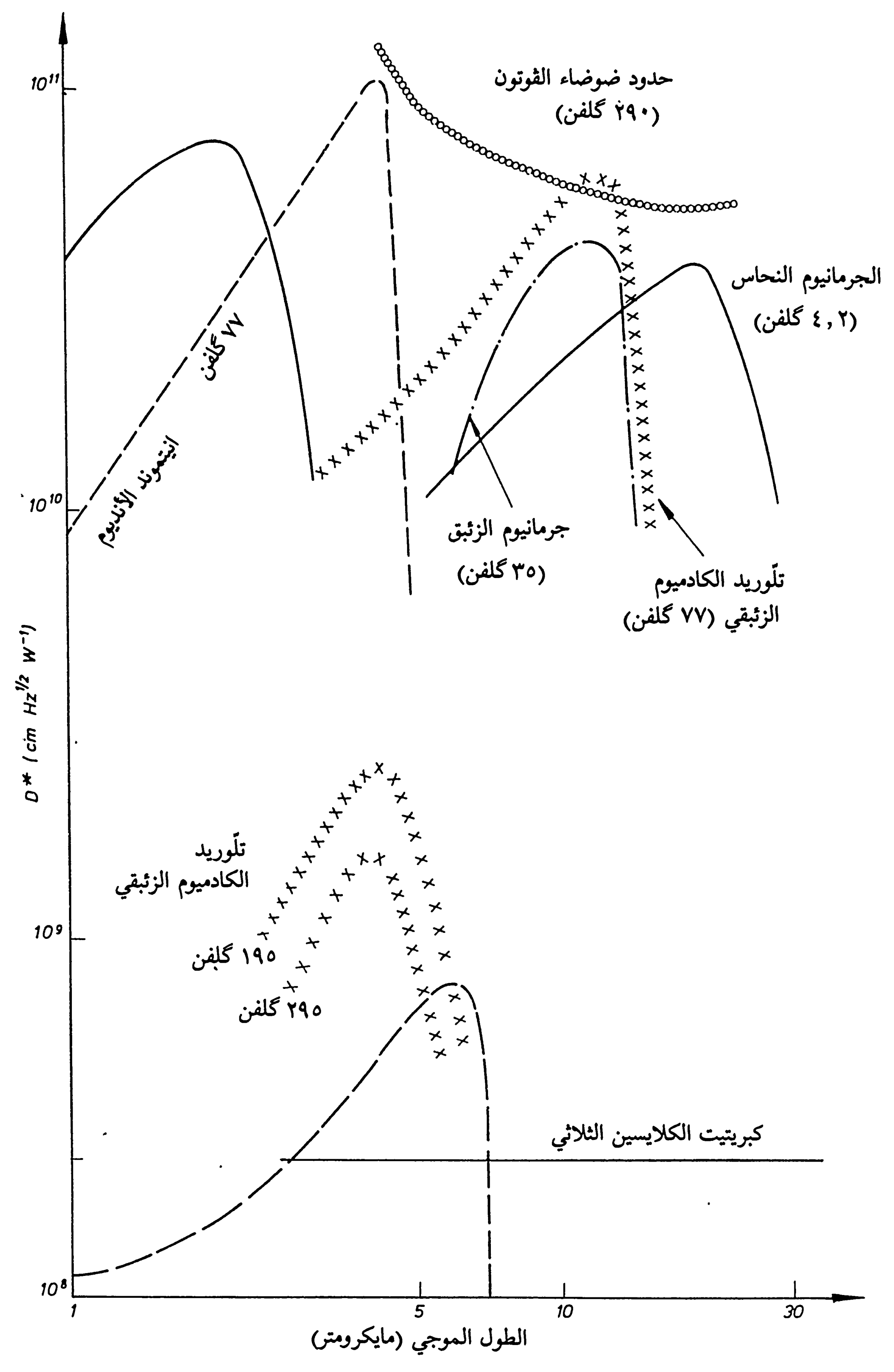
يستثمر حالياً الإشعاع الكهرومغناطيسي في الجزء البعيد من الأشعة دون الحمراء من الطيف (٣ ـ ٣٠٠ مايكرومتر) ، في التطبيقات العسكرية التالية :

أ . التسديد الحراري :

لقد طورت المسددات الحرارية لاستخدامها بالترابط مع مكثفات الصورة لتحسين كشف الهدف في ظروف الرؤية الضعيفة أو خلال الدخان والتمويه . ويتألف النموذج الأولي من كاشف واحد يعمل في النطاق (٣ ـ ٥) مايكرومتر . وتتم عملية المسح بالمستوىٰ العمـودي فقط ، وتدوًّر السـدادة لتعطي مسحـاً افقياً . وعندما يسقط الإشعاع دون الحمراء من الهدف على الكاشف فإن الخرج الناتج يستخدم لتشغيل الضوء والذي يُسقّط بصرياً في مجال رؤية الراصد .

ب . المتحسسات الأرضية من بُعد :

هناك عدة أنواع من أجهزة الإنذار الخاصة بالاختـراق ، تتضمن أجهزة إنذار بدخـول اللصوص ، تستخـدم منظومـة الأشعة دون الحمـراء الفعالـة .



شكل (٤ ـ ٤) استجابة كاشفات الأشعة دون الحمراء

ويشتغل جهاز الإنذار عند قطع إشعاع الأشعة دون الحمراء . ومن الممكن أيضاً استخدام كاشفات الأشعة دون الحمراء السلبية في منظومات التحسس من بعد .

جـ : المسح الخطي للأشعة دون الحمراء . (IRLS) :

إن المسح الخطي للأشعة دون الحمراء عبارة عن منظومة محمولة جواً تستخدم في طائرة الإستطلاع والطائرات المسيرة من بعد لتجهيز الصور الفوتوغرافية التقليدية كما وتقدم قابلية عمل ليلية . وتوفر حركة المركبة الجوية مسحاً باتجاه واحد ، ويستخدم المسح الميكانيكي علىٰ شكل موشور دوار للمسح علىٰ جانبي خط النظر . ويتم تركيز الأشعة دون الحمراء على الكاشف ويستخدم الخرج الناتج منه لتحريك صمام متوهج . والضوء المتغير من هذا الصمام يتم تعريضه علىٰ فلم حيث يتم سحبه ببطء عبر هذا الضوء ؛ وعندما تتم تغطيته ومعالجته فإن الفلم يعطي تسجيلاً دائمياً لغرض تفسيره .

د . التوجيه الصاروخي :

إن توجيه الصواريخ بالأشعة دون الحمراء أو صواريخ البحث الحراري هي حالياً قيد الخدمة . جهاز الكشف المناسب ، والذي يعمل عادة في نطاق (٣ ـ ٥) مايكرومتر يقوم بعملية المسك من خلال عادم الطائرة الهدف . وتغذىٰ إشارات الخرج من الكاشف للسيطرة علىٰ سطوح الصاروخ وتوجيهه إلى هدفه . وفي بعض منظومات توجيه الصواريخ المضادة للدبابات ، يضبط المشغل المسددة علىٰ الهدف ، بينما تستخدم منظومة الأشعة دون الحمراء لتتبع الصاروخ . وتقدر منظومة التعقيب الفرق بين خط النظر إلىٰ الهدف وإلىٰ الصاروخ وإرسال الإشارات إلىٰ الصاروخ لوضعه علىٰ محور الهدف .

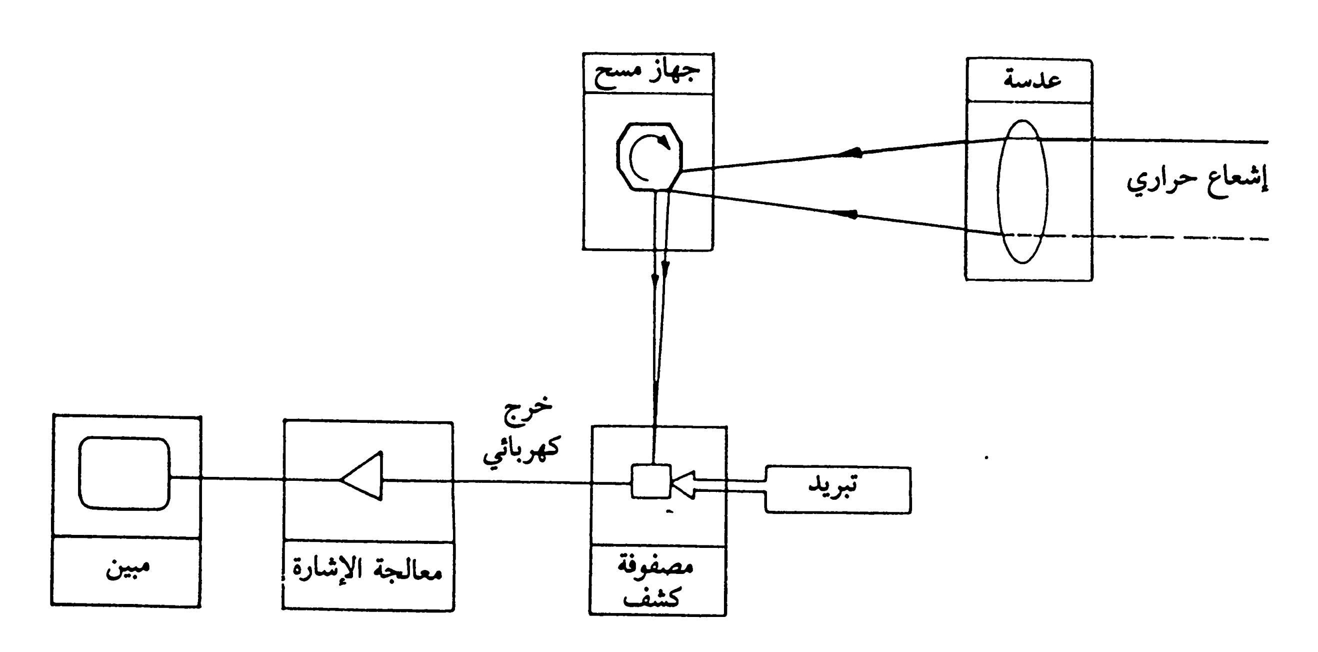
هـ . التطوير الحراري (TI) :

هو تطبيق لتقنية الأشعة دون الحمراء البعيدة التي تشهد حالياً تطوراً كبيراً ولذلك سوف تتم تغطية الموضوع تفصيلاً في المقاطع اللاحقة . ويمكن بيان اتجاهين بارزين . الأول في استخدام الكاشفات المبردة نوع تلوريد الكادميوم

الزئبقي (CMT) لإعطاء قدرة تفريق عالية بمقدار $\frac{1}{3}$ ملي راد mrad وبالتالي تصوير مدىً أطول ، والثاني في استخدام الكاشفات الكهروحرارية التي تعطي قدرة تفريق أوطأ ومدىً تصوير أقصر .

٥ ـ منظومات التصوير الحراري :

إن النافذتين الجويتين ذات الصلة بموضوع التصوير الحراري هما بنطاق (٣ ـ ٥) مايكرومتر ونطاق (٨ ـ ١٣) مايكرومتـر . ويعتمد اختيـار النطاق على خصائص الهدف وتوافر أجهزة الكشف . وفي البداية تم تطوير أجهزة الكشف التي تعمل في نطاق (٣ ـ ٥) مايكرومتر ، وحديثاً تم تطوير تلوريد الكـادميوم الزئبقي CMT الذي سمح باستثمار النطاق (٨ ـ ١٣) مايكرومتر . ويتضح من الشكل (٤ ـ ١) أن هناك إشعاعاً مهماً من الأجسام الحارة مثل المحركات النفاثة (١٢٠٠ گلفن) وعوادم العجلات (٥٠٠ گلفن) في النطاق (٣ ـ ٥) مايكرومتر وقد تم تطوير المنظومات لكي تعمل في هذا النطاق . مع ذلك ، ولكي نكشف الأهداف الباردة نسبياً مثل الرجال والعجلات الباردة ، فـإنه يجب استخـدام النطاق (٨ ـ ١٣) مايكرومتر .



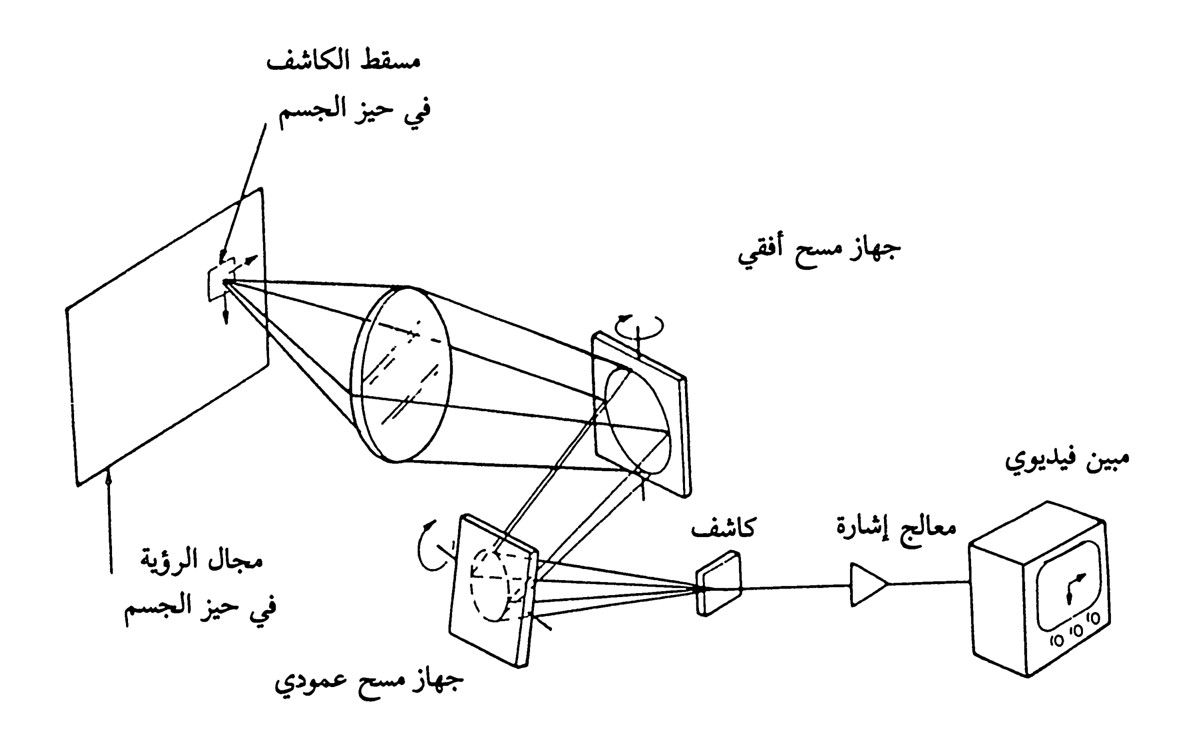
شكل (٤ ـ ٥) مخطط كتلوي لجهاز تصوير حراري

في الشكل (٤ ـ ٥) مخطط كتلوي لجهاز تصوير حراري . وتعمل منظومة العدسة بنفس طريقة عمـل منظومـة العدسـة البصريـة مع فـارق مهم وهو أن العدسات مصنوعة من مادة ترسل إشعاع الأشعة دون الحمراء البعيدة ويحتمل أن تكـون المادة هي الجـرمانيـوم . ويعتبر جهـاز المسح والكـاشف قلب جهـاز التصوير ، حيث سيتم وصفهما بالتفصيل . إن الخرج من الكاشف يكون علىٰ شكل إشارة مرئية وفي عدة حالات يكون علىٰ هيئة إشارة تلفزيونية ولذلك فإن معالجة الإشارة مشابهة جداً لـطريقة معـالجة الإشـارة التلفزيـونية وأن المبين سيكون إما بوساطة شاشة مراقبة تلفزيونية ، أو بالنسبة للتـطبيقات الصغيـرة ، شكلاً من أشكال مبين دايود الإبتعاث الضوئي (LED) .

أ . منظومات المسح ومصفوفات الكاشف :

إن الكاشف المثالي هو الذي يتألف من عناصر ذات تركيبٍ مختلف ؛ وهـذا يشبه العين ، ولا يحتـاج إلىٰ عملية مسـح ، لأن المشهد الكلي سيتم تصـويره على المصفـوفة . إن قـدرة تفريق بمقـدار (٠,٥) ملي راد (mrad) وبمجال رؤية (٢٠°) تتطلب حوالي نصف مليون عنصر (أو نقـاط صورة) . ويتطلب كل كاشف مضخم متقدِّم خاص به وكـل قناة تتـطلب أن يكون لهـا استجابة مماثلة . والمشكلة هي أن إنتاج مثل هذه المصفوفة هو خارج إمكانيات التقنية الحالية وفي أن يكون لكل قناة استجابة مماثلة خاصة بها .

ويمكن استخدام عنصر أحادي لإجراء عملية المسح عليه عبر المشهد كله . هذه المنظومة مبينة في شكلها المبسط في الشكل (٤ ـ ٦) . من ناحية ثانية ، إذا كانت جودة الصورة المطلوبة أن تكون مثل التلفزيون في كل شيء فسـوف يكون من المـطلوب معلومات ذات عـرض نطاق تـرددي حوالي (٥) ميكاهيرتز . ومادة تلوريد الكادميزم الزئبقي CMT لها واحدة من أسرع أزمان الإستجابة للموصلات الضوئية ، ولكن عرض نطاقها الترددي بحـدود (٢٠٠) كيلوهيرتز ، ومن الواضح أنه غير مـلائم . وأجهزة التصـوير الحـراري الأولية



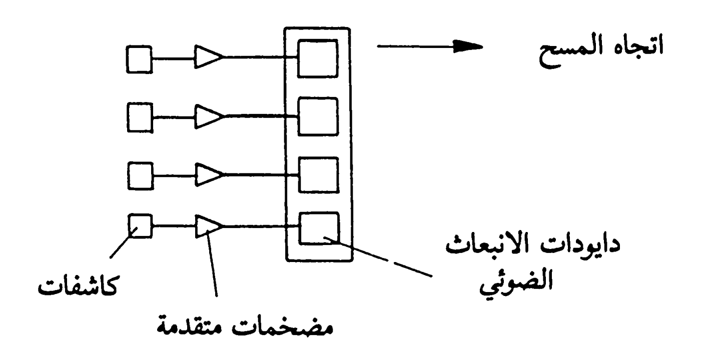
شكل (٤ ـ ٦) كاشف أحادي مبسط ـ جهاز مسح ثنائي المحور

المبنية في الخمسينيات استخدمت كاشفات ذات عنصر أحادي ، ولكن أداءها كان ضعيفاً وخاصة تجاه الأهداف المتحركة .

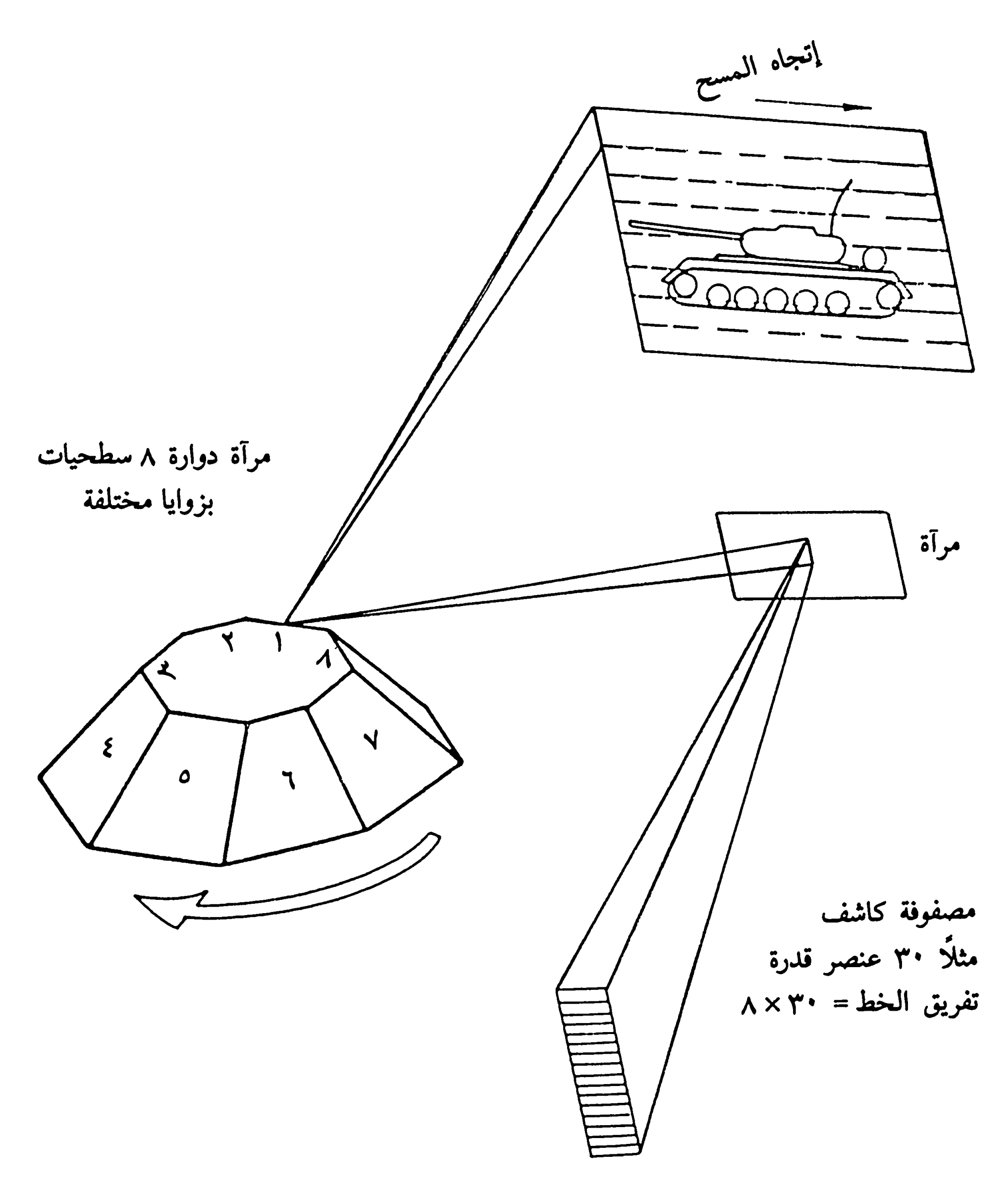
إن استخدام مصفوفة عناصر الكاشف يعتبر شيئاً أساسياً في الوقت الحاضر إذا ما أريد إتمام كل من حساسية حرارية عالية وجودة في الصورة . وهنا يجب ملاحظة أن استخدام مصفوفة الكاشف مع عدد (N) من العناصر سيحسن نسبة الإشارة إلىٰ الضوضاء بمقدار $\sqrt{N}$. وسبب هذا أن زمن اختيار العينات لأية صورة يزداد بعامل (N) ؛ وتزداد الإشارة بـ (N) من المرات والضوضاء بمقدار ($\sqrt{N}$) .

ويمكن ترتيب المصفوفة بإحدىٰ طريقتين ، كمنظومة متوازية أو منظومة متتالية .

ويبين الشكل (٤ ـ ٧) الرسم التخطيطي للمصفوفة المتوازية ، حيث تركب عمودياً وتجري عملية المسح أفقياً . ويتم مسح كل المشهد بمسح إكتساحي واحد ، بشرط أن تحتوي المصفوفة علىٰ عناصر كافية لإجراء عملية



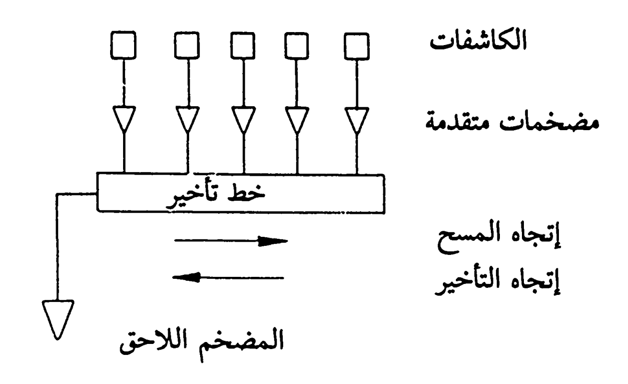
شكل (٤ ـ ٧) معالجة المسح المتوازي



شكل (٤ ـ ٨) ميكانيكية المسح المتوازي

التفريق الملائمة . ويمكن الحصول علىٰ نفس النتيجة بمسحتين إكتساحيتين متشابكتين وبنصف عدد العناصر ، أو مع سلسلة من المسح الأفقي المتلامس يغطي مجال الرؤية العمودي في سلسلة من الربطات من القمة إلىٰ القعر كما موضح في الشكل (٤ ـ ٨) . ويضخم الخرج من كل كاشف ويُعرض بالتتابع علىٰ مرسمة الأشعة الكاثودية (CRO) أو شاشة دايود الإنبعاث الضوئي . وللكاشف نوع CMT المبرد النموذجي (١٥٠) عنصراً وكل عنصر عبارة عن مربع (٥٠) مايكرومتر . ومع معدل إطار (٢٥) لكل ثانية و(٣٠٠) صورة خط وبصريات مناسبة ، فإن مثل هذه المنظومة ستكون لها حساسية أقل من (٠,٥ م°) ومدىٰ عمل من (٣ ~ ٥) كم .

وتركب مصفوفة المسح التسلسلي أفقياً شكل (٤ ـ ٩) ويتم مسح كل نقطة



شكل (٤ ـ ٩) معالجة المسح التسلسلي

من الصورة من قبل كل عناصر الكاشف . ويتم تأخير المخارج المختلفة وجمعها بواسطة خط تأخير موحد . وكل نوع من ترتيب الكاشف له محاسن ومساوىء . فالمصفوفة المتوازية تكون مُحكمة ، ولكن التغييرات في استجابات العناصر المنفردة تُدخل نوعاً من الضوضاء الفضائي (الحيزي) ، غير موجود في المشهد . ويتجاوز التنظيم المتسلسل مثل هذا العيب من طريق أخذ معدل تغييرات الكاشف ؛ من جانب آخر فإن الإستعدادات البصرية تتجه إلىٰ أن تكون أكثر تعقيداً .

ب . المنظومات غير الماسحة :

إن تعقيد ودقة منظومات المسح الميكانيكية تقترح تطوير طرق غير ميكانيكية بديلة . وتوصلت المحاولات المختلفة إلىٰ حساسية حرارية وقدرة تفريق ، وزمن استجابة واطيء جداً مقارنة مع منظومات المسح الميكانيكية . إن منظومات التلفزيون وصمامات تحويل الصورة المستعملة في الأطوال الموجية البصرية ، لا تعمل علىٰ نحوٍ مُرضٍ في الأطوال الموجية للأشعة دون الحمراء البعيدة بدون معالجة الإشارة المعقدة إلىٰ حدٍ ما . هذا الفشل في الأداء هو نتيجة التباينات الحرارية الصغيرة نسبياً التي تتطلب استجابة منتظمة غير ممكنة تقريباً علىٰ سطح الكاشف . وكما في مصفوفة سطح الإنبعاث ، فإن تصنيع أجهزة الكشف إلى هذا المقدار من التفاوت القياسي المسموح ، يعتبر غير عملي في الوقت الحاضر .

جـ . الفيديكون الكهروحراري :

يعتبر الفيديكون الكهروحراري المنظومة غير الماسحة الأكثر نجاحاً والتي تم تطويرها حديثاً . وهي كاشف حراري يستخدم الظاهرة الكهروحرارية حيث أن التبدل في درجة حرارة المادة ينتج تبدلاً في الاستقطاب الكهربائي (أو شحنات موجبة وسالبة علىٰ السطوح المتعاكسة) . والمادة المستخدمة هي بلورة مفردة من كبريتيت التراي كلايسين (TGS) ، مستقطبة كهربائياً من طريق تسليط مجال تيار مباشر . ويغطىٰ الوجه الأمامي للبلورة بطبقة موصلة رقيقة ومثبتة علىٰ جهد ثابت . ويقوم الإشعاع الحراري الساقط بتسخين المادة مما ينتج تبدلات في البلورة . ولأنِ الوجه الأمامي موضوع علىٰ جهد ثابت فإن تبدلات الاستقطاب تؤدي إلىٰ تغيير شكل الشحنة الموجبة علىٰ الوجه الخلفي للبلورة . ويتم مسح هذا بواسطة حزمة الكترونية كما في الفيديكون القياسي . ويتغير تيار الحزمة الذي يقوم بالمسح عبر البلورة ، مثلما يتغير الإشعاع الحراري من المشهد .

ولا تعتمد استجابة جهاز الكشف بشكل كبير علىٰ الطول الموجي بين (٢)

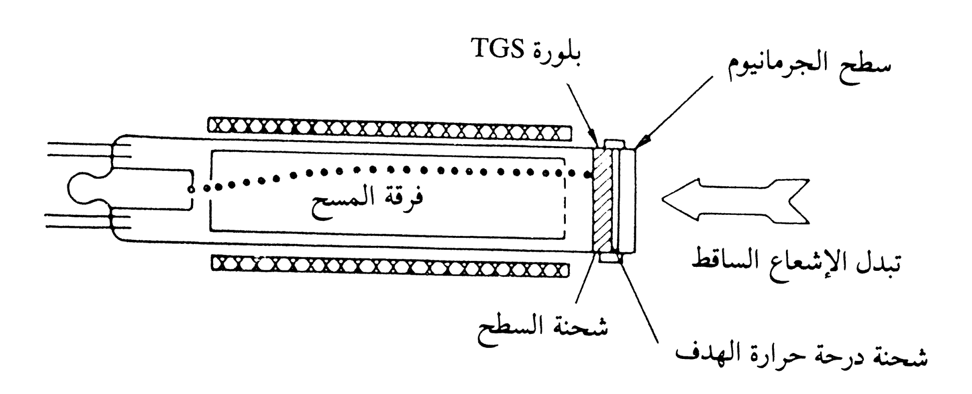
مايكرومتر و (٤٠٠) مايكرومتر ، كما أن حساسيات درجة الحرارة لـ (٢ , ٠) درجة مئوية ممكنة التحقيق الآن ، ولأن الجهاز حراري ، فإن درجة حرارة طبقة التحسس يجب السماح لها بأن تكون منتظمة بين التشكيلات إذا أريد تجنب تشوش الصورة التلفزيونية . وتستخدم بعض الأجهزة غالقاً ميكانيكياً لهذا الغرض وفي البعض الآخر فإن السطح يتأرجح باستمرار . والمشكلة الأخرىٰ هي « الانتشار الحراري » في البلورة نتيجة التوصيل من المناطق الساخنة ، ويمكن تقليص هذه الظاهرة باستخدام سطح انبعاث من عناصر (TGS) . وعموماً فإن أداء الفيديكون الكهروحراري يكون أقل من أداء جهاز التصوير الحراري الذي يستخدم الموصل الضوئي المبرَّد ؛ وتكون معدلات البيانات أوطأ وقدرة التفريق الحيزي محدودة . ومن غير المحتمل أن يكون للفيديكون الكهروحراري مدىٰ أكثر من (١ كم) ولكن للعمل في المدىٰ القصير فإن محاسنه هي عدم حاجته إلى التبريد وكلفته المنخفضة كثيراً .

د . التبريد :

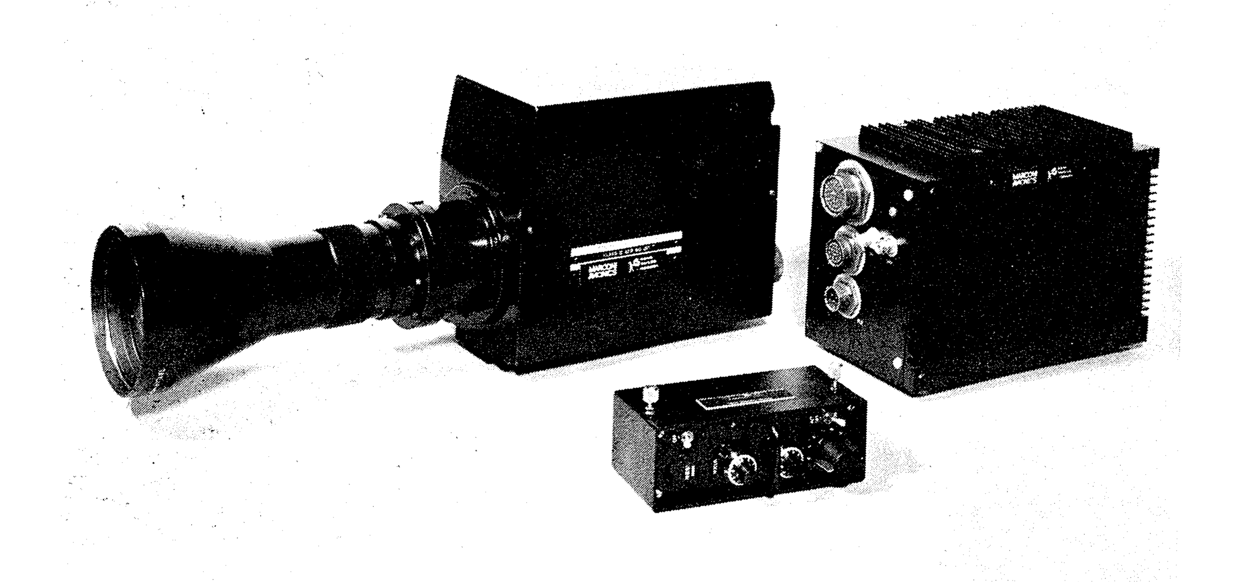
تحتاج أجهزة التصوير الحراري العاملة في النطاق (٣ ـ ٥) مايكرومتر المتخذة كهدف ضد الأجسام الحارة نسبياً ، إلى التبريد لدرجات حرارة تتحقق بالطرق الكهربائية . من ناحية ثانية تتطلب أجهزة التصوير الحراري المستخدمة في ساحة المعركة والعاملة في النطاق (٨ ـ ١٣) مايكرومتر ، تتطلب تبريداً إلى درجات حرارة منخفضة جداً . ويتحقق هذا بغمر خلفية جهاز الكشف في غاز سائل ويسمح له بالغليان لضمان درجة حرارة ثابتة .

ويمكن الحصول علىٰ النتروجين السائل وإرساله إلى جهاز الكشف باستخدام عملية نقل الغاز السائل المسماة (leidin Frost) . والمنظومة الأكثر عملية لاستخدامها في الميدان هي في إنتاج النتروجين السائل في جهاز الكشف من طريق ربطه إلىٰ مُبرِّد صغير . ويجهز هذا المبرِّد بغاز مضغوط بدرجة عالية من أسطوانه ، ويصنع الغاز السائل باستخدام تبريد « جول تومبسون » بواسطة ظاهرة التمدد . إن إعادة شحن اسطوانات الغاز في الميدان من أجهزة الضغط

المتنقلة عملية سهلة نسبياً ولكنها تفرض عبئاً إدارياً إضافياً . ومن الممكن في المستقبل تزويد العجلة الحاملة لأجهزة التصوير بغاز سائل من ماكنة تبريد تعمل علىٰ ماكنة « ستيرلنك » أو على مجموعة مشابهة .



شكل (٤ ـ ١٠) الفيديكون الكهروحراري

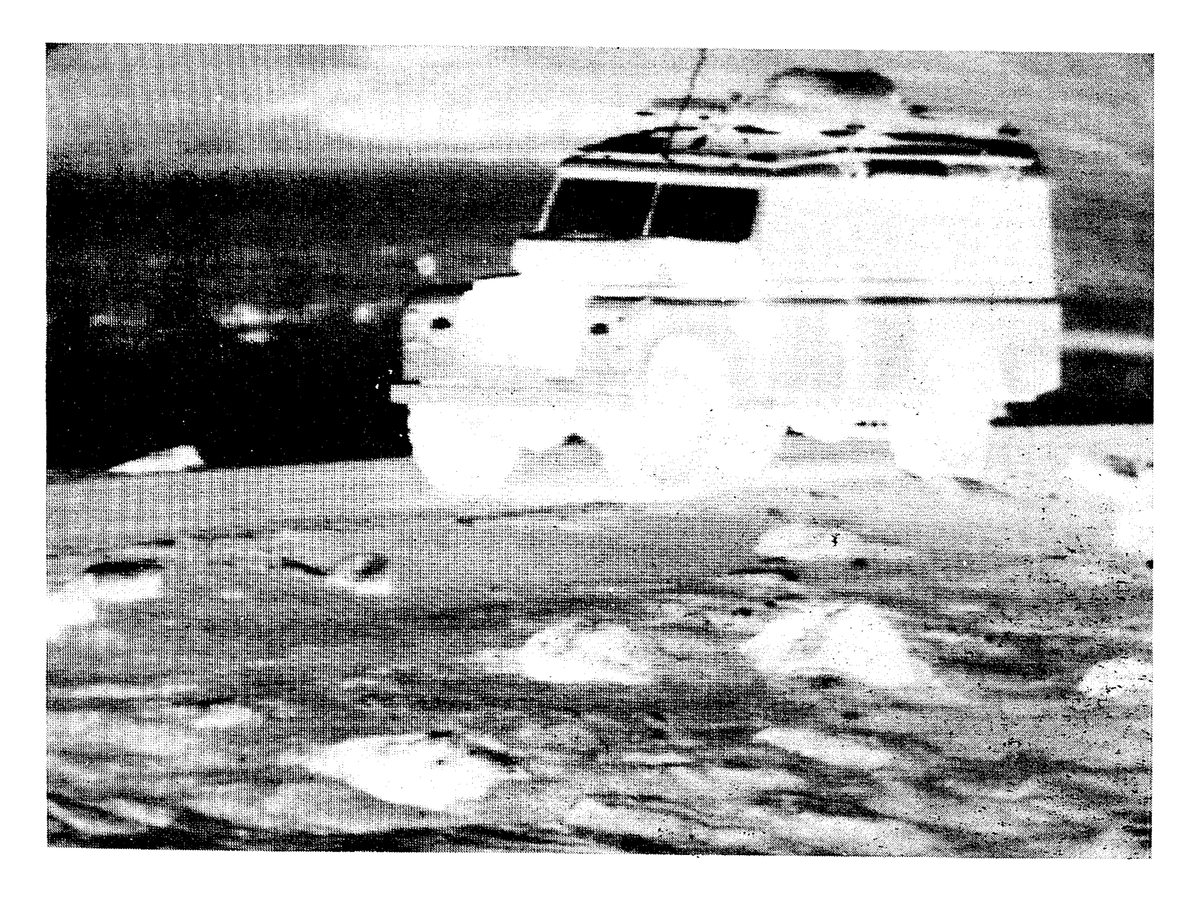


شكل (٤ ـ ١١) جهاز تصوير حراري نوع II

٦ ـ الخلاصة :

إن المدخل إلىٰ فائدة أجهزة التصوير الحرارية يوفر منظومات المراقبة السلبية وتحصيل الهدف للـ ٢٤ ساعة الأُوَلِ على ساحة المعركة . وأجهزة التصوير الحراري المستخدمة للمراقبة ، قادرة على كشف الأهداف خارج الحدود الإعتيادية للإبصار ولمسددات التصوير الحراري ، فهي تُنتج لتكون قادرة على تحصيل الأهداف خارج المدىٰ الأقصىٰ لكل أسلحة النيران المباشرة .

ورغم أن جهاز التصوير الحراري منظومة سلبية ، والتي لا تُعوِّل على الإضاءة المحيطية ، فهي ليست منظومة لكل الحالات الجوية . وتحت



شكل (٤ ـ ١٢)

لاندروڤر مرئية من خلال جهاز تصوير حراري مبرَّد

الحالات الصافية فإن التصوير الحراري يكون عادة خارج مدىٰ المراقبة البصرية ، وإن التصوير الحراري يمكنه أن ينفذ خلال الضباب الخفيف ، ودخان ساحة المعركة . من ناحية ثانية ، فإن الضباب والمطر ، حيث تقترب حجوم القطرات الصغيرة جداً من الأطوال الموجية دون الحمراء ، يمكن أن يسبب استطارة خطيرة ويقلل المدىٰ الحراري قليلاً أفضل من المدىٰ المرئي . وهكذا فإن جهاز التصوير الحراري لا يوفر الجواب الكامل لكل مشاكل الحالات الجوية ولكنه متطلب متمم بواسطة منظومة مثل الرادار الذي قليلاً ما يتأثر بالضباب والمطر .

وتتطلب أجهزة التصوير الحراري الحالية كميات كبيرة جداً من القدرة ، مقاسة بعشرات الواطات . وقد يُقلل هذا مع تواصل التطور . من ناحية أخرىٰ ، فإن متطلب التبريد سيبقىٰ ما دام يستخدم الموصلات الضوئية ، مع الأعباء الإدارية الإضافية الخاصة بها . وأخيراً تكون أجهزة التصوير الحراري غالية الثمن ، وتكلف المتطلبات الحالية من خمسة إلىٰ عشرة أضعاف كلفة مكثفات الصورة التي حلت محلها .

« الفصل الخامس »

الليزرات

١ ـ مقدمة :

منذ أن تعزَّز عمل الليزر في عام ١٩٦٠ فقد ظهرت فائدته في مدىً واسع من التطبيقات في مجالات الدفاع ، والصناعة والطب . ويتميز إشعاع الليزر من الضوء الإعتيادي في عدة مظاهر : أهمها إنتاجه على شكل حزمة متوازية تقريباً وكثيفة وأحادية اللون (الطول الموجي) . ويمكن توجيه الحزمة بدقة عالية وبكثافة ، التي تجعل الليزر أداة مهمة جداً في تطبيق مهمات المراقبة وتحصيل الهدف في مجال النطاق العسكري ، وخاصة في إيجاد المدىٰ ، إضاءة الهدف ، ووظائف التتبع والتخصيص . وهدف هذا الفصل هو وصف مبادىء عمل الليزر ، وأنواعه المختلفة المستخدمة في هذه العمليات ، وتطبيقاتها .

٢ ـ مبادىء اشتغال الليزر :

أ . العناصر الأساسية :

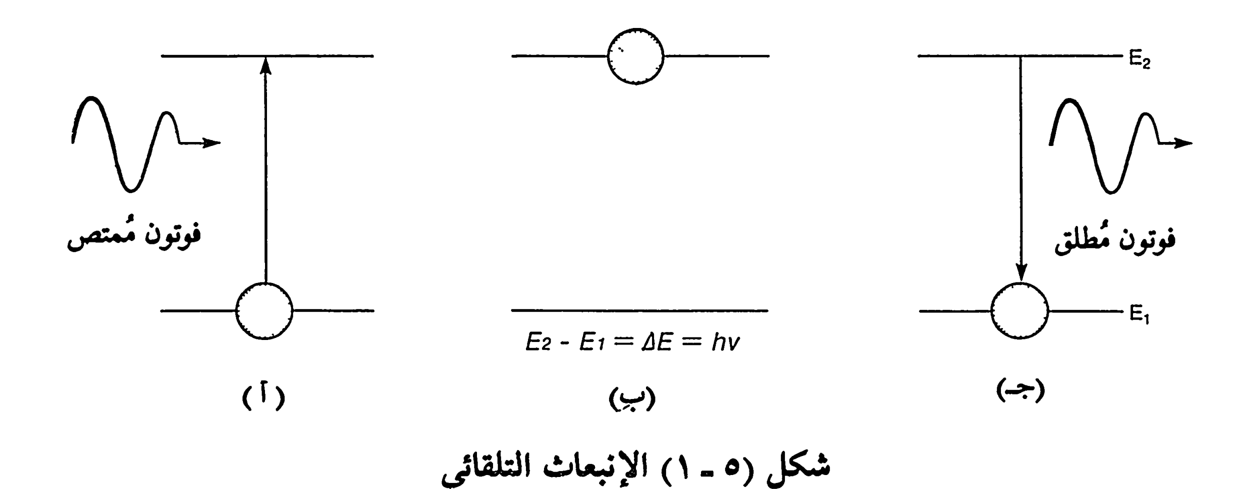
إن كلمة ليزر LASER هي اللفظة الأوائلية لتضخيم الضوء بابتعاث الإشعاع المنشط ، ويرتبط عادة مع الانبعاث في المناطق للأشعة فوق البنفسجية والمرئية ودون الحمراء لطيف الموجة الكهرومغناطيسية . وينتج الإنبعاث المحفز البصري من مادة نشطة حيث استنبطت حالات التوزيع العكسي(١) كآلات الطاقة الطبيعية . وتحدد المادة المنشطة بواسطة السطوح العاكسة بين التي بينها يتم احتواء الليزر ضمن تجويف رنان بطريقة مشابهة لمولد الموجة

الدقيقة . والعنصر الفعال يمكن أن يكون إما غازاً، بلورة معالجة (غير نقية) شبه موصل أو سائلاً ويمكن الحصول على التوزيع العكسي بواسطة عملية الضخ بواسطة الطرق الكهربائية أو البصرية أو الحزمة الإلكترونية . ويمكن إنتاج خرج الليزر إما كحزمة متواصلة (شكل الموجة المستمرة) ، أو كسلسلة نبضات (شكل النبضة المتعددة) ، أو كنبضة جبارة أحادية ، ذات فترة زمنية لبضعة ناتو ثانية . وسيتم مناقشة هذه الخصائص بتفصيل أكثر في المقاطع التالية .

ب . الإنبعاث التلقائي :

لكي نفهم الفروقات بين الإشعاع الليزري والضوء الإعتيادي فمن الضروري فحص الإختلاف في ميكانيكية التشكيل لكليهما .

والضوء الاعتيادي الآتي من مصباح متوهج ، ينبعث بواسطة ذرة مُثارة خلال إطلاق (تحرير) فوتون بصري في غياب الحافز الخارجي . وتظهر العملية عشوائياً وتسمىٰ بالإنبعاث التلقائي . والفوتون إشعاع كمي يدوم حوالى (١٠^-٨) ثانية بالنسبة للذرة المعزولة . ويبين الشكل (٥ ـ ١) تسلسل الأحداث



شكل (٥ ـ ١) الإنبعاث التلقائي

التي تظهر في الإنبعاث التلقائي . تُرفع الذرة إلىٰ حالة الاستثارة (أ) بامتصاص فوتون ، وبعد المكوث في هذه الحالة (ب) لزمن اختياري ، تطلق الذرة فوتوناً آخر (جـ) بطاقة تساوي :

$$DE = E_2 - E_1 = hv$$

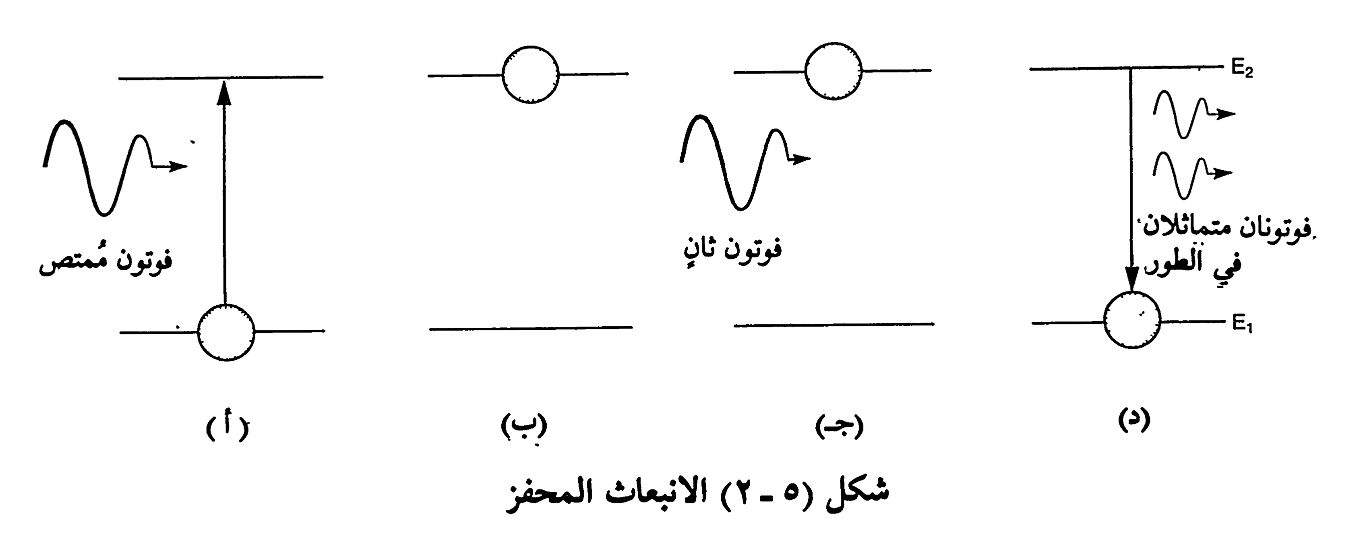
حيث v = تردد الفوتون .

h = ثابت بلانك .

وليس هناك عملية تضخيم في هذه العملية .

جـ . الإنبعاث المُحفَّز :

إن النوعيات الوحيدة للإشعاع الليزري هي الإشعاع المتشاكِه (coherence) ، وأحادي اللون ، الموجهية وكثافة الإشعاع الساقط ، وكلها تنبع من الإنبعاث المحفز الموضح في الشكل (٥ ـ ٢) .



شكل (٥ ـ ٢) الانبعاث المحفز

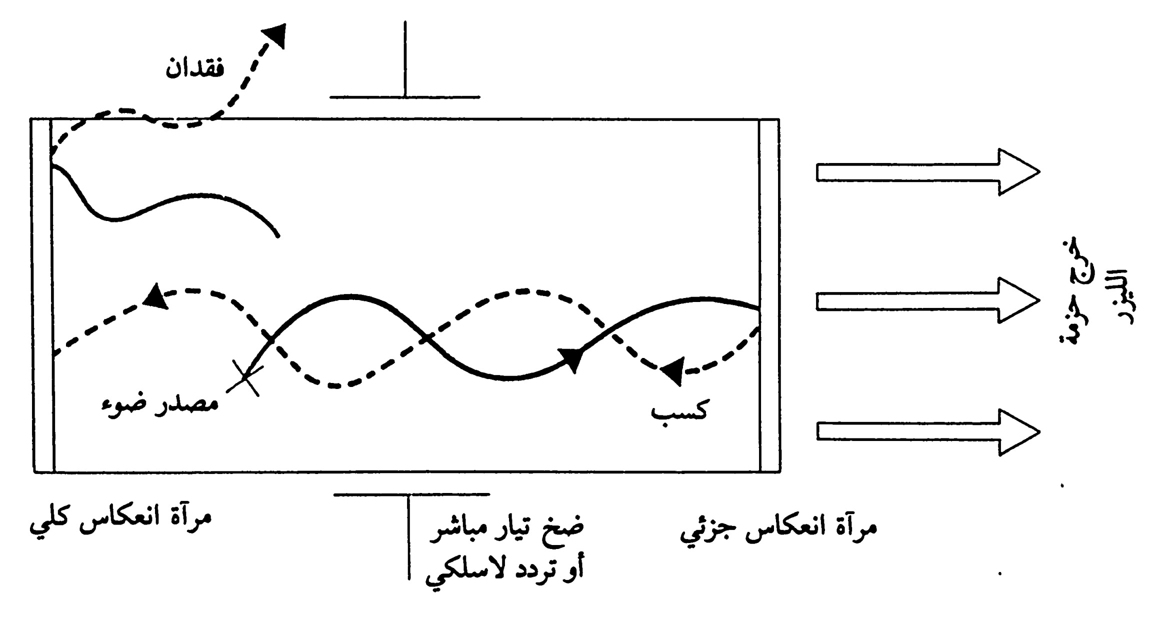
ويتضح من نظرية أنشتاين أنه إذا كانت هناك ذرة أو جُزَيْئَة في حالة طاقة عالية فإن إطلاق هذه الطاقة المخزونة يمكن السيطرة عليها بواسطة تعريض الذرة أو الجزيئة إلى مجال كهرومغناطيسي بنفس التردد . وتوضح المقارنة بين الشكل (٥ ـ ١) والشكل (٥ ـ ٢) الفرق الأساسي بين الإنبعاث المحفز والإنبعاث التلقائي . ولكي يظهر الإنبعاث المحفز فإن الذرة أو الجزيئة يجب أن تكون مسبقاً في حالة إثارة قبل أن تمتص فوتوناً ثانياً شكل (٥ ـ ٢ جـ) وقبل أن يكون لها وقت لتتلاشىٰ بالانبعاث التلقائي . وكنتيجة فإن فوتوناً ثانياً ينبعث في نفس الإتجاه وبنفس التردد والطور كالفوتون المْحفز .

د . التشاكه : Coherence

يتم جعل الفوتون المحفز في حالة تشاكُه (في طور واحد) مع الفوتون المُحَفِّز ليقوي أحدهما الآخر لإنتاج موجة خارجة مضخمة ومستقرة وذات إتجاهية عالية . وهذا عكس الإشعاع الموحد الخواص الضوضائي والعشوائي والذي ينشأ في الإنبعاث التلقائي من مصدر غير متشاكه . وتطلق الليزرات العملية نطاقاً ضيقاً من الترددات وبالتالي لا يكون التشاكه كلياً وينتج حزمة خارجة ذات انفراج قليل .

هـ . التجويف المرنان :

لتثبيت عمل الليزر يجب أن تكون هناك كثافة عالية من الذرات في مستوىٰ الطاقة الأعلىٰ (E_2) أكثر منها في مستوىٰ الطاقة الأدنىٰ (E_1) . وهذه عكس الحالة التي تظهر في الحالة الطبيعية للمادة ، وتسمىٰ التوزيع العكسي . ويستخدم التجويف المرنان لإنتاج التوزيع العكسي وأيضاً لتضخيم الموجة . وهناك تشابه قريب من مولد الموجة الدقيقة ، والفرق الرئيسي هو وجود عدة أشكال تنافسية كثيرة في التجويف البصري تجعل من التشاكه العالي لدرجة أكثر صعوبة لتحقيقه . وفي أبسط أشكاله ، شكل (٥ ـ ٣) ، فإنه يكون من وسط



شكل (٥ ـ ٣) فكرة التجويف المرنان

فعال بين مرآتين سطحيتين إحداهما شفافة جزئياً لتسمح بمرور الناتج الخارجي علىٰ شكل حزمة ليزرية .

ويتم إنجاز الضخ بواسطة إثارة خارجية هي التفريغ الكهربائي في وسط غازي ، وتستخدم طاقة الضخ لرفع الذرات أو الجزيئات إلى الحالات الأعلىٰ إثارة وإنجاز حالة التوزيع العكسي . ويبدأ عمل الليزر بواسطة الفوتونات المنبعثة تلقائياً بعد بدء عملية الضخ . وتتفاعل هذه الفوتونات مع الذرات المُثارة عند مرورها خلال التجويف لتفقد طاقتها بالإنبعاث المُحفَّز . وينتج كل فوتون موجة تنمو في اتساعها بتفاعلات متتالية مع ذرات الغاز ، وتنعكس هذه الموجة إلى الخلف وإلىٰ الأمام من طريق مرايا التجويف حيث تُحفَّز ذرات أكثر ولتنتج تضخيماً إضافياً . وإذا كان الكسب بواسطة الإنبعاث المحفز يفوق الفقدان الذي يظهر مثلاً بالاستطارة والامتصاص في الوسط الفعال ، وفقدان انعكاس المرآة ، فإن العملية ستستمر . وهناك بالطبع فقدان بطيء خلال مرآة الإنعكاس الجزئي ، وإن التصميم الجيد لِلّيزر متعلق بالحصول علىٰ أمثل ترابط للخرج . وإذا كان هذا الترابط عالياً جداً فإن معدل الفقد قد يفوق معدل الضخ وينقطع التذبذب . وإذا كان منخفضاً جداً فسوف لا يكون هناك قدرة خارجة كافية . وعموماً ، فإن الإرسال بمقدار (١ ـ ١٠٪) للمرآة مستخدم بشكل اعتيادي . وتقاس كفاءات منظومات الليزر بنسبة القدرة المتشاكهة المشعة إلى القدرة الكهربائية الداخلة ، وتقع في مدىٰ من (٠,٠٥) إلى ٢٠٪ أما الباقي فيتبدد بشكل طاقة غير مجمّعة بواسطة الفوتونات المتحركة بغير موازاة المحور في التجويف وبعملية الامتصاص والانبعاث التلقائي .

٢ ـ انتشار حزمة الليزر :

يزداد قطر حزمة الليزر مع المدىٰ طبقاً للمعادلة التالية :

$$D^2 = d^2 \left(1 + \frac{\lambda R}{N d^2} \right)$$

حيث (λ) الطول الموجي لشعاع الليزر و (d) قطر الحزمة في التجويف .

ويبين الجدول (١) كيف يتغير القطر بالنسبة لليزر عنصر النيوديميوم .

قطر الليزر/ المدى (متر) الخارج	١٠	$١٠^{٢}$	$١٠^{٣}$	$١٠^{٤}$
٠,٢	٠,٦	٦	٦٠	٦٠٠
٢	٢	٢٢	٦	٦٠
١٠	١٠	١٠	١٠	١٢
٢٠	٢٠	٢٠	٢٠	٢٠

وتتناسب المسافة التي عندها تكون حزمة الليزر متوازية مع مربع قطر التجويف وعكسياً مع الطول الموجي . ويتناسب الإنفراج خلف هذه المسافة مع الطول الموجي مقسوماً علىٰ قطر تجويف الليزر . وعند تطبيق نفس هذه العلاقة علىٰ الإشعاع الكهرمغناطيسي يمكن أن نرىٰ أن مولد الموجة الدقيقة الذي يعمل على طول موجي (١ سم) يتطلب جهاز إرسال بقطر (٥٠٠ سم) لإنتاج نفس المدىٰ من توازي الحزمة كما في ليزر النيوديميوم مع قطر التجويف (٥ سم) . من جهة أخرىٰ فإن انحراف حزمة الليزر خلف حدود هذا المدىٰ سيكون (١٠٠) مرة أصغر بالنسبة لِلّيزر. وهكذا فإن طاقة حزمة الليزر ستتركز في مساحة أصغر . وهذه الموجهية العالية تعطي لحزمة الليزر الجهد اللازم للعمل على مسافات أطول من مرسل الموجة الدقيقة . والتسديد المحكم لحزمة الليزر يجعلها صعبة الكشف ، ولذلك يكون لها إمكانية الإنفتاح في العمليات السرية رغم إمكانية مجابهتها بوسائل كهروبصرية .

وفي بعض التطبيقات العسكرية من المهم تحقيق أصغر قطر للحزمة على الهدف . وفي هذه الحالات تمرر حزمة الليزر خلال موسِّع حزمة التلسكوب لكي يحرف الحزمة الخارجة إلى درجة تحدد بقطر التركيز البصري النهائي ، والحد الموضوع بواسطة تأثيرات الحيود . ومن غير الممكن إنتاج مثل هذه النقاط الصغيرة مع مصدر ضوء طبيعي غير متشاكه بدون عدم القبول بالتضحية على حساب الشدة .

أ . تأثيرات الغلاف الجوي :

في الفراغ ، كما في الفضاء تقل شدة حزمة الليزر فقط بواسطة انحرافها وبدرجة تهيج الحزمة الموجودة . ويتناسب انحراف الحزمة مع الطول الموجي ، وهكذا فإن الشدة تتغير مع عكس مربع الطول الموجي ، مشيرة إلىٰ استخدام الأطوال الموجية القصيرة في مثل هذه التطبيقات . هذا الموقف البسيط لا يصح للحالات الأرضية لأن حزمة الليزر تتفاعل مع العناصر الأساسية للجو .

إن المصادر الرئيسية لفقدان الشدة بالمرور خلال الجو ، هي :

أولاً : خلال الامتصاص والاستطارة بواسطة جزيئات الهواء والهباء الجوي(٢) الذي يقع ضمن طريق حزمة الليزر . وهناك عدة أنواع من الهباء الجوي مثل قطرات الماء في حالات الضباب الخفيف ورذاذ الماء والأبخرة والدخان . ولا يشارك كل من الامتصاص والاستطارة مادياً في توسع الحزمة .

ثانياً : خلال اضطراب الجو الذي ينتج تغييرات في درجة الحرارة ومعاملات انكسار متغيرة ، مسببة تراوحات في الشدة ومشاكل في توجيه الحزمة بالإضافة إلىٰ توسيع الحزمة .

ثالثاً : خلال تهيج الحزمة الحادث بسبب عدم الاتساق في خرج الليزر وفي منظومات تتبع التحكم المؤازِر في حالة استخدامها .

رابعاً : خلال انحراف الحزمة والتي تحدد بدرجة التشاكُه .

إن طاقة الليزر الممتصة من قبل جزيئات الهواء والهباء الجوي تشحن الهواء المحلي ، وإذا كانت كبيرة بما فيه الكفاية ، فيمكنها إنتاج انحدارات في الكثافة ومعامل الإنكسار ، تتلاءم مع عدسة القدرة السالبة . والتأثير هو عدم تركيز حزمة الليزر وأن مصطلح « التنوير الحراري » تَمَّت صياغته بصيغة مشابهة للزهرة . ويعتبر التنوير الحراري مصدراً مهماً لفقدان الشدة في الإرسال الليزري عالي القدرة ولكن يمكن تقليصها أو إلغاؤها بواسطة الرياح المستعرضة والدوران حول القطب .

ب . اعتماد الطول الموجي :

إن إرسال الإشعاع المرئي والأشعة دون الحمراء خلال الجو هو حالة معقدة وغير اعتيادية للطول الموجي ، كما هو مبين في الشكل (٤ ـ ٢) ويمكن أن نرىٰ أن هناك مناطق ذات إرسال عالٍ ، ولكن أيضاً هناك مناطق امتصاص قوية والتي هي مبدئياً نتيجة جزيئات ثاني أوكسيد الكاربون وبخار الماء .

وطبيعي أن نوافذ الإرسال ذات قيمة عملية . وتظهر هذه النوافذ بشكل مرئي في المنطقة القريبة من الأشعة دون الحمراء بين (٤ , ٠) مايكرومتر و (٢) مايكرومتر ، ولكن مع بعض أنطقة امتصاص الجزيئة بين (٩ , ٠) مايكرومتر و (٢) مايكرومتر ؛ وفي المنطقة الوسطىٰ للأشعة دون الحمراء بين (٣) مايكرومتر و (٥) مايكرومتر باستثناء نطاق الإمتصاص الكبير لثاني أوكسيد الكربون عند (٣ , ٤) مايكرومتر ، والمنطقة الكلية البعيدة للأشعة دون الحمراء بين (٨) مايكرومتر إلىٰ (١٤) مايكرومتر . ويعود طيف الإرسال الخاص هذا إلىٰ الطريق الأفقي الساحلي الحقيقي . وبرغم أن الخصائص العامة مستمرة لمواقع جغرافية أخرىٰ ، فمن الممكن توقع أن وجود دخان وأبخرة المصانع سيكون له تأثير مهم . والتغييرات اليومية المصحوبة بالحالات الأرضية التي يمكن توقعها أيضاً ، تجعل التنبؤ بها صعباً .

وعموماً فإن استطارة الهباء الجوي هي التي تسود في مناطق الرؤيا والأشعة دون الحمراء القريبة من الطيف . بينما عملية امتصاص الجزيئة هي ميكانيكية الفقدان المهمة لمنطقة الأشعة دون الحمراء القريبة . وهناك تقدير لزيادة القيمة في النفاذ خلال الهباء الجوي لإشعاع ثاني أوكسيد الكربون على طول الإشعاع المرئي لمديات الإبصار التي تزيد عن حوالي (٥) كم . وتحت مثل هذه الظروف فإن حجوم القطيرات محتمل أن تكون أقل من (١) مايكرومتر . وفي حالات الضباب من ناحية أخرىٰ حيث تزداد حجوم القطيرات بحوالي (٥٠) مايكرومتر ، تضيع ميزة الطول الموجي الطويل في نفاذ الهباء الجوي بينما يكون التوهين الجوي أفضل مع الإيحاء بطول موجي مثالي عند

ذروة نطاق الإرسال دون الحمراء المتوسط ، إلا أن التغييرات الفصلية واليومية في الحالات الجوية تؤدي دوراً حرجاً .

ويعطي الجدول (٢) مؤشراً لحجوم بعض العناصر الجوية الأساسية المهمة . ويتوقع من هذه البيانات أن فعالية زيادة المدىٰ للأنطقة دون الحمراء البعيدة والمتوسطة ، سوف تكون بالنسبة للغبار والدخان بالإضافة إلى الضباب ولكن ليس بالنسبة للأبخرة الثقيلة والضباب الثقيل .

الجدول (٢) حجوم الهباء الجوي

الدخان	٢,٠ ـ ٢ مايكرومتر
الغبار	١ ـ ١٠ مايكرومتر
الأبخرة	إلى حد ١٠٠ مايكرومتر
رهج (ضباب خفيف)	إلى حد١ مايكرومتر
ضباب وغيوم	٥ ـ ٥٠ مايكرومتر
السديم (ضباب رقيق)	٥٠ ـ ١٠٠ مايكرومتر
الرذاذ	١٠٠ ـ ٥٠٠ مايكرومتر
المطر	٥٠٠ ـ ٥٠٠٠ مايكرومتر

ويسبب الاضطراب الجوي توسعاً في الحزمة وتطوافها إلى درجة تعتمد علىٰ المدىٰ ، ودرجة الإضطراب والطول الموجي لإشعاع الليزر . ومن الناحية المثالية قد ينتج الاضطراب العالي مقداراً يزداد في قطر الحزمة عند (٥) مايكرومتر . واعتماد الطول الموجي ضعيف جداً ، ولكن هناك طول موجي حرج والذي دونه يسيطر انتشار حزمة الاضطراب علىٰ تأثيرات الحيود .

وبسبب أن امتصاص الجزيئة أقوىٰ عند أطول موجي ، فمن المتوقع أن التنوير الحراري سيكون معالم تحديد الشدة لانتشار القدرة العالية . بينما في

منطقة الأشعة دون الحمراء المرئية والقريبة ، فإن انتشار الحزمة المحتثة المضطربة واستطارة الهباء الجوي هي تأثيرات الانتشار النهائية . ويبدو أن منطقة الأشعة دون الحمراء المتوسطة ستقدم أفضل تسوية ولو أن الحالات الجوية والطبيعية الحقيقية ستحدد مرة أخرىٰ أمثل طول موجي .

جـ . إشارة الرجوع :

إن متوسط القدرة P_r المجمعة بواسطة جهاز إستقبال ، مقدرة لمدىٰ ذات مساحة A_r من هدف على مسافة R الذي يعكس على نحو منتشر كل طاقة حزمة الليزر بمعامل انعكاس ρ ، تُعطىٰ بالصيغة التالية :

$$P_r = \frac{\rho P_0}{\pi} \frac{A_r}{R^2} \eta \Gamma \, \eta_r \exp(-\mu R)$$

حيث P_0 معدل الطاقة المشعة .

η_t ، ηr معاملا الكفاءة الكمية للمرسلة والعاكس على التوالي .

ويجب أن تكون قوة الإشارة الراجعة أكبر من أدنىٰ قيمة والتي تحدد بواسطة خصائص الضوضاء للكاشف المستقبل . ونسبة الإشارة إلى الضوضاء لها علاقة بهذه الخصائص وبقوة الإشارة الراجعة ، ومن طريق المعادلة التالية :

$$S/N = \frac{P_r}{[(NEP)^2 \times 4/\hat{\iota}]^{\frac{1}{2}}}$$

حيث أن NEP القدرة المكافئة للضوضاء[٣] للكاشف و($\hat{\iota}$) عرض النبضة . وكمثال لتوضيح هذه المعالم : إذا كانت P_0 = ١ = ١ ميكاواط ، $\hat{\imath}$ = ٤٠ نانوثانية ، فإن قطر٣ فتحة جهاز الاستقبال (٥ سم) والطول الموجي (١,٠٦) مايكرومتر (النيوديميوم) والإشارة الراجعة من الهدف بانعكاسية (٠,٠١) ومدىٰ (١ كم) هي تقريباً ٥,٠ × ١٠$^{-٥}$ واط جاعلة السماح المناسب للخسائر الجوية على طول طرق الخروج والعودة . وبالنسبة لقدرة الضوضاء المكافئة NEP = ١٠$^{-١٠}$ واط (هيرتز)$^{-١}$ فإن نسبة الإشارة إلىٰ الضوضاء S/N ستكون بحوالى (٥) إلىٰ (١) ويمكن عندئذٍ قياس مدىٰ الهدف . من هنا n_r =

η_t = ١ . وإذا لم يعترض الهدف كل حزمة الليزر فإن التعبير عن P_r أعلاه يجب أن يضرب بـِ :

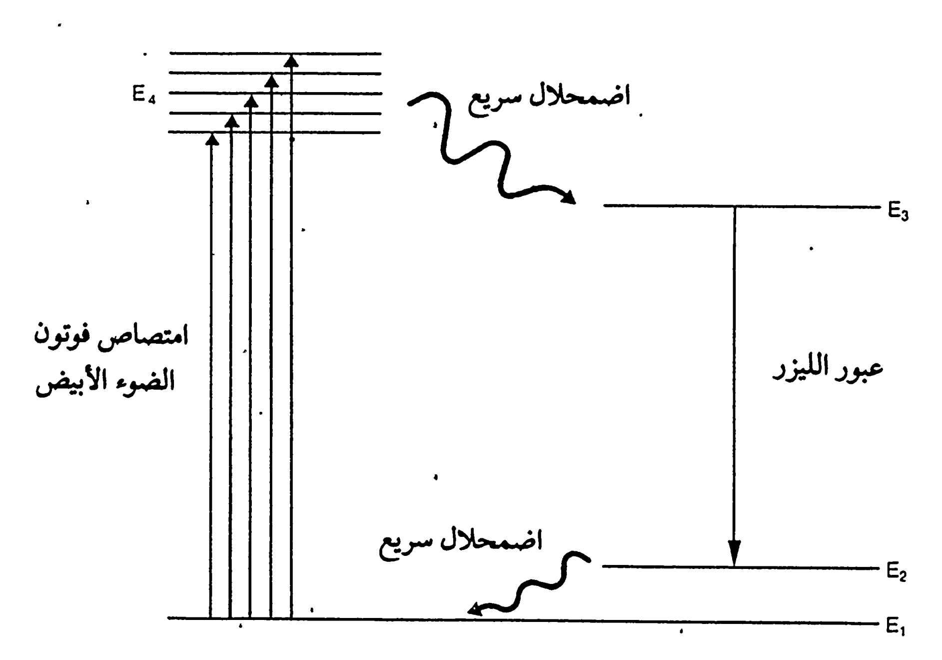
$\frac{4\,A_t}{\pi\, R^2\, \theta^2}$ حيث A_t مساحة الهدف و θ انحراف الليزر الخارج .

وفي التطبيقات المساحية والتعاونية يتم تثبيت عاكس مكعب على الهدف ليزيد من الإشارة الراجعة ١٠^٤ مرة أقوىٰ من التي تأتي من الهدف المنعكس مثل دبابة العدو ، ويزيد بشكل كبير المدىٰ الفعال .

٤ ـ أنواع الليزرات :

أ . دورة الضخ لِلَّيزر النموذجي :

إن عملية الضخ في ليزر عملي هي أكثر تعقيداً من المنظومة البسيطة التي تم وصفها في بداية هذا الفصل ، وتحتوي على أكثر من مستويين بين ذريين . ويبين الشكل (٥ ـ ٤) دورة تذبذب الضخ لمنظومة ليزر نموذجية تعمل على أربعة مستويات .



شكل (٥ ـ ٤) دورة الضخ لليزر ذي (٤) مستويات

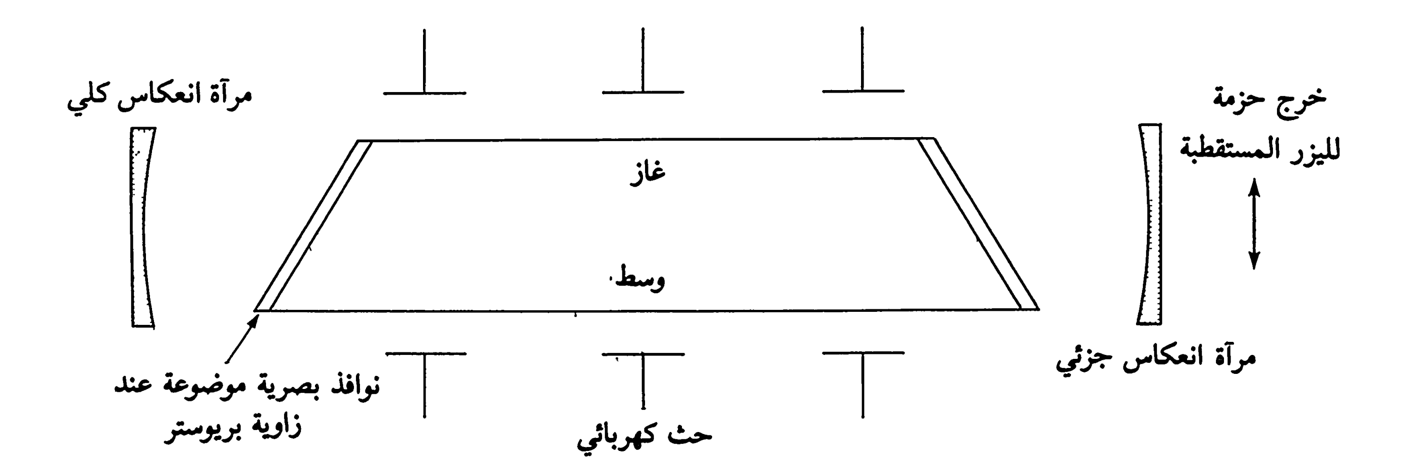
وفي هذه المنظومة تكون حالة الطاقة الأعلىٰ (E_4) ذات نطاق امتصاصي عريض وبمستويات ذات تباعد قريب . وهي احتياطي كفؤ للضوء ذي الترددات المختلفة (الضوء الأبيض) لرفع الإلكترونات من حالة الخمود ، وهو المبدأ المستخدم في ليزرات النيوديميوم والياقوت . وتضمحل الذرات المثارة بسرعة إلى المستوىٰ E_3 يتبعها تحول الليزر إلىٰ E_2 وبالتالي اضمحلال سريع إلى حالة الخمود E_1 . وتظهر العملية بشكل مشابه في الليزر الغازي ؛ والفرق الرئيسي هو أن الامتصاص يستأنف بواسطة نوع واحد من الذرات التي بعد ذلك تنتقل الطاقة بواسطة التصادم مع ذرات الصنف الثاني ، وهذه الذرات تقوم باختبار انتقال الليزر . وفي كل من الحالتين يتم تشكيل حالة التوزيع العكسي ، خاصة إذا كانت الحالة الأوطأ لانتقال (عبور) الليزر E_2 هي ليست أيضاً حالة الخمود E_1 .

ب . الليزرات الغازية :

تتميز الليزرات الغازية ببساطة تركيبها وتعطي درجة عالية من تعدد الاستعمالات . فهي قادرة على إنجاز درجة عالية من التشاكه والموجهية ، وتغطية أوسع مدىٰ من القدرة الخارجة .

وليزر الهيليوم نيون هو الليزر الغازي الأول الذي ظهر بشكل واضح . وتنجز عملية الضخ البصري بواسطة حث التيار المباشر أو التردد اللاسلكي (RF) لذرات الهيليوم ويتم نقل الطاقة إلى ذرات النيون بتصادم الذرات . وتشع ذرات النيون بواسطة نشاط الليزر عند طول موجي (٠,٦٣٢٨) مايكرومتر ولكن يتم أيضاً انبعاث الخطوط الأخرىٰ . ويبلغ مدىٰ القدرات الخارجة من (١) ملي واط إلى (٢٠) ملي واط وتكون الاستخدامات مصحوبة بشكل رئيسي مع إيجاد المدىٰ بعلم القياس والمساحة . ويبين الشكل (٥ ـ ٥) الرسم التخطيطي لليزر الهيليوم نيون .

وعادة يفصل التجويف عن المرايا لحمايتها من الضرر ويتم إحكام الصمام بواسطة زوج من المسطحات البصرية المتوازية توضع عند زاوية « بريوستر »[١]



شكل (٥ ـ ٥) ليزر الهيليوم نيون

Brewster ، حيث يتم استقطاب خرج الليزر حيث تكون جودة الحزمة جيدة جداً ولكن الكفاءة تكون أقل من ١٪ .

ويعمل ليزر الأركون على أساس الانتقال بين حالات الإثارة لذرات الأركون المتأينة الأحادية التي تطلق على عدة خطوط بين (٠,٣٥) مايكرومتر و(٠,٥٣) مايكرومتر . وحيث أنه يأخذ طاقة أكثر بكثير لتأيين كل ذرة فسوف تكون هناك حاجة لدخل أكثر لليزر الأركون مقارنة مع ليزر الهيليوم نيون ولنفس المقدار من الخرج output وقد يحتاج إلى التبريد بالماء مما يجعله ضخماً .

إن مبدأ الليزر الغازي المستخدم حالياً في المراقبة وتحصيل الهدف هو ليزر ثاني أوكسيد الكربون ، ويعمل بواسطة انتقالات الجزيئة في جزيئة ثاني أوكسيد الكربون التي تكون أقرب إلى بعضها البعض من الحالات الذرية . ولذلك تُنتج طاقة فوتون الليزر الواطئة أي انبعاث فوتون بطول موجي أطول .

وتقوم جزيئة Co_2 بالإنبعاث في المدىٰ من (٩) إلى (١١) مايكرومتر مع أقوىٰ خط عند (٠,٦) مايكرومتر . ويحدث هذا في منتصف نافذة الإرسال الجوي للأشعة دون الحمراء البعيدة ، مع وجود غازي النتروجين والهيليوم أيضاً . وللنتروجين نفس الدور الذي يلعبه الهيليوم في ليزر الهيليوم النيون .

وتُستثار جزيئة النتروجين بمصدر ضخ خارجي ويتم تبادل الطاقة مع جزيئات Co_2 بالتصادم . ويساعد الهيليوم التوزيع العكسي بالقيام بتحلل بعض المستويات غير المنتجة في جزيئة Co_2 . والكفاءات التي بمقدار ٢٠٪ يمكن تحقيقها في أجهزة Co_2 ذات الموجة المتواصلة واطئة الضغط كما يمكن الحصول علىٰ قدرات خارجة جيدة تزيد على (١) كيلوواط . ولقد تم تجاوز المعضلات الصعبة في تحقيق عمل نبضي معتمد عليه وذلك بتطوير الليزر الجوي المستثار عرضياً (TEA) الذي ينتج حالات منتظمة ومستقرة للتفريغ في وسط الليزر بتصميم دقيق لشكل الأقطاب في تجويف الليزر .

ولقد تم الحصول علىٰ قدرة خارجة في نطاق (٢٠٠) كيلوواط ونبضة طولها (٦٠) نانوثانية وبتجويف طوله (٢٥) سم وبكفاءة حوالي ١٪ . ويشكل ليزر TEA الأساس لمقدرات المدىٰ الليزرية نوع ماركوني وفيرانتي والتي سيتم وصفها بشكل موجز لاحقاً . ويتم استقطاب الخرج بطريقة تشبه ليزر الهيليوم نيون المذكور آنفاً .

والتطوير في استخدام ليزر Co_2 في تطبيقات إيجاد المدىٰ ، من المحتمل أن يكون قيد الاستعمال بمعدلات تكرار عالية لأغراض تخصيص الهدف وقياس المدىٰ . كما تم أيضاً تطوير الليزرات المحكمة جداً ذات الضغط العالي ونوع مرشد الموجه وذات خرج مستمر لأغراض المواصلات .

ومجال التطور الآخر ، هو استخدام ليزرات Co_2 ذات الموجة المستمرة مع كشف هيترودايني . ومبدأ العمل هو التضمين الترددي للخرج المستمر ، ومزج الإشارة الراجعة المزاحة بالتردد ، مع مُركِّبة الإشارة المرسلة المُضمَّنة لانتاج تردد تضاربي . ويتم الحصول علىٰ المعلومات المتعلقة بمدىٰ الهدف والسرعة نصف قطرية من الإشارة الخارجة . مثل هذه المنظومات هي منظومات الأشعة دون الحمراء المماثلة لرادار الموجة الدقيقة ، كما يمكن الحصول علىٰ مستويات عليا من نسبة الإشارة إلى الضوضاء . ويمكن استعمال التقنية في الوظائف المشتركة لقياس المدىٰ والمواصلات ومن المحتمل أن تكون أقل

كشفاً من الطريقة النبضية المباشرة لأن الطاقة المنبعثة تكون أقل . والضرر الرئيسي هو أن معالجة الإشارة تكون أكثر تعقيداً مما يؤدي إلى وجود معدات أضخم .

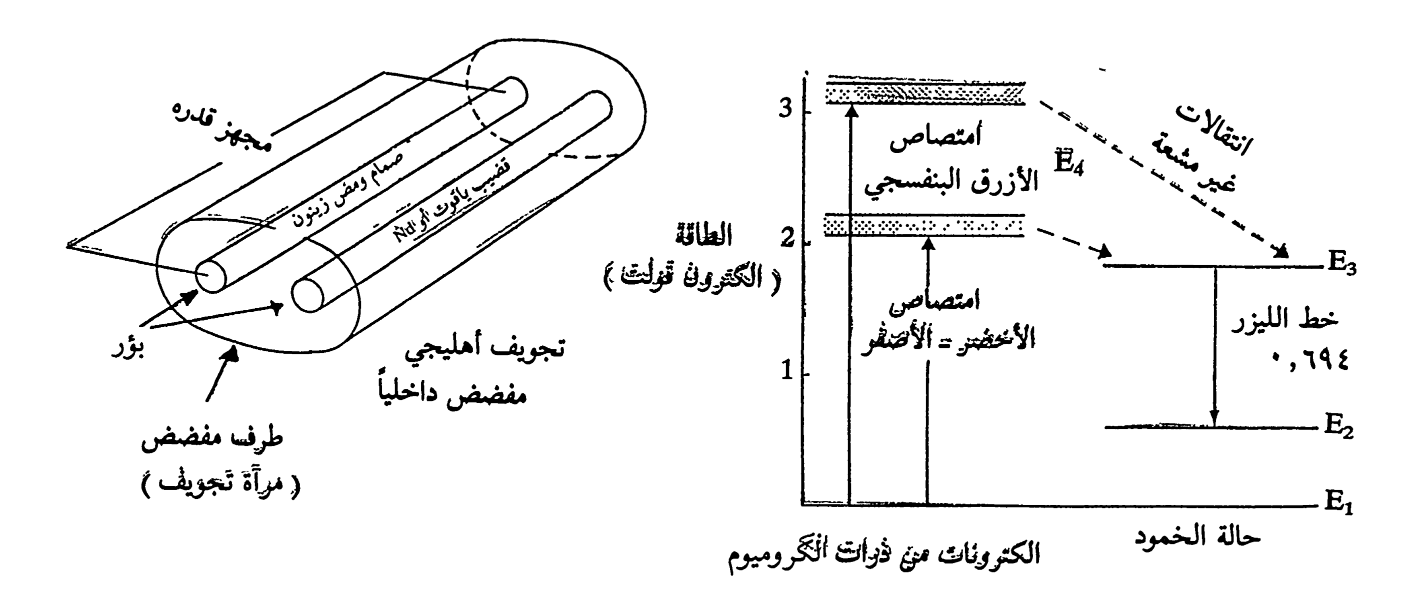
والتطورات الأخرىٰ في الليزر الغازي والتي لها تطبيقات ذات صلة بالموضوع هي نوع الليزر الكيمياوي الذي يعمل علىٰ أساس احتراق الفلورين مع غاز الهيدروجين أو الديتريوم لتوليد انبعاث عند الطول الموجي (٢,٥) مايكرومتر و (٣,٨) مايكرومتر علىٰ التوالي ، والأخير يأتي ضمن نافذة الإرسال الجوي دون الحمراء الوسطية . والليزر نوع excimer يستخدم مزيجاً من غاز نادر والهالوجينات . والأمثلة على ذلك فلوريد الكربتون الذي يبدأ بالانبعاث عند (٠,٢٥) مايكرومتر ، وفلوريد الأركون عند (٠,١٩) مايكرومتر . ويبدو أنه من الممكن الحصول على كفاءات أكثر من ١٠٪ .

جـ . ليزرات الحالة الصلبة :

تقدم ليزرات الحالة الصلبة ميزة على الليزرات الغازية ، بامتلاكها كثافة حجميّة من الأينات . عالية جداً . وأغلب مقدرات المدىٰ الليزرية المستعملة اليوم تستخدم ليزر الحالة الصلبة ذا ضخ بصري . وبسبب أنها صغيرة جداً ولها كفاءة تحويل واطئة فإن تبريد الحرارة تعتبر معضلة ، مما جعلها لا تستخدم للتطبيقات ذات معدلات القدرة العالية .

ويبين الشكل (٥ ـ ٦) مبدأ عمل الليزر الياقوتي أو النيوديميوم (ND) مع تجويف أهليجي .

وبما أن الضخ بواسطة تصادم الذرات غير ممكن في المواد الصلبة ، فإن مادة الليزر يجب أن تكون شفافة بصرياً للإشعاع من مصدر الضخ وهو مصباح وَمْض زينون بضوء أبيض . ويوضع مصباح الومض في بؤرة وتوضع الياقوتة أو النيوديميوم في بؤرة أخرىٰ . وتتكون البلورة الياقوتية من أوكسيد الألمنيوم مضافاً إليه نسبة قليلة من الكروميوم ، والكروميوم على هيئة أيونات هو الذي يوفر مستويات تحول الليزر .



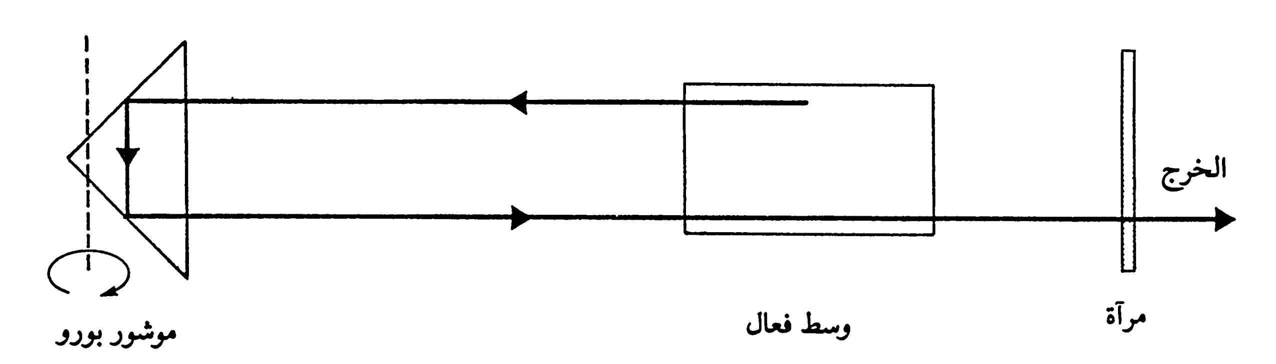
شكل (٥ ـ ٦) مبدأ عمل ليزر الياقوت والنيوديميوم

وتعاني بلورة الياقوتة من الكفاءة المنخفضة (٠,٠٥٪) مسببة حرارة عند تردد تكرار النبضة المنخفض جداً التي تخمد عملية الضخ . ومن الضروري تبريد البلورة إلى درجة حرارة النتروجين السائل للمحافظة على سرعة معقولة للضخ . ورغم أن ليزر الياقوت هو من المعدات الأصلية لمقدرة المدى جيفتن ، فإن مقدرات المدى الأخيرة تستخدم النيوديميوم إما مع عقيق إلمنيوم اليتريوم (Nd:YAG) أو مع الزجاج (Nd:glass) كما في المادة المضيِّفة . ويكون الطول الموجي لخرج ليزر النيوديميوم (١,٠٦) مايكرومتر وبكفاءة حوالى ٢٪ .

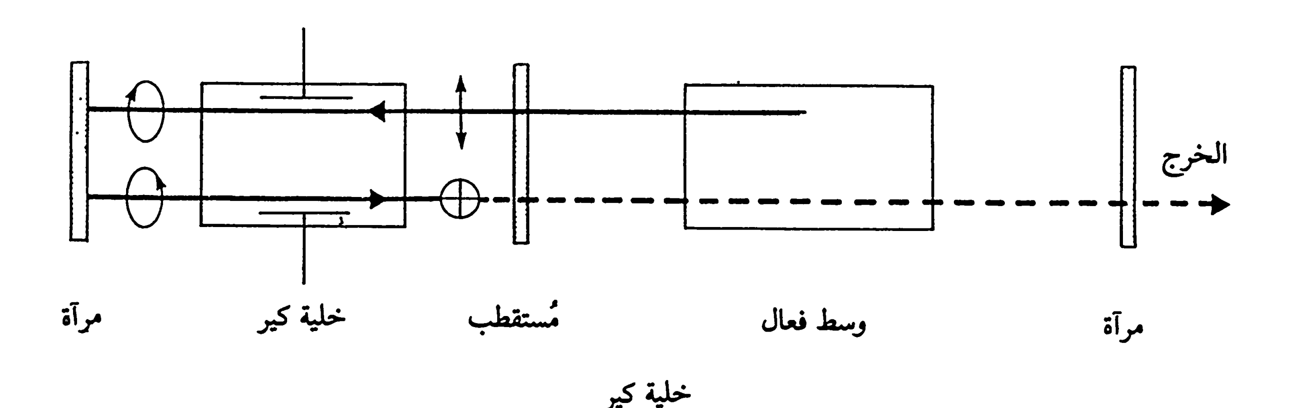
ويتم تشكيل مذبذب التجويف بتفضيض نهايات قضيب الليزر ، أو باستخدام مرايا تجويف منفصلة . والخرج من المِرنان البسيط هذا عبارة عن خليط من التحولات بين مختلف الأشكال المحورية المستعرضة والتي يمكنها الارتشاح (escape) من المنظومة . والشكل المؤقت الناتج عبارة عن سلسلة من النتوءات من أشكال الذبذبة المتنافسة . ولجعل هذا مناسباً للتطبيقات العسكرية فإن النبضة الخارجة يجب السيطرة عليها ، وفي حالة منظومات قياس المدى الحالية يتم إنجاز هذا بتقنية تدعى Q-Switching(٤) .

وتتضمن هذه التقنية تبديل نوعية التجويف . ابتداءً تزال مرايا التجويف وتسمح عملية الضخ بإنشاء التوزيع العكسي إلى قيمة عالية جداً بدون تغذية عكسية والتي تُنشأ المتذبذبات المتنافسة . وبعد إنجاز التوزيـع العكسي فإن أعلىٰ قيمة ممكنة لتشغيل مرايا المنظومة تزيد بشكل سريع عامل النوعية والتغذية العكسية ، مما يسمح بإطلاق كل الطاقة المخزونة في نبضة واحدة قصيرة ذات شدة عاليـة جداً ، حيث تكـون الطاقـة المطلقـة على شكل تـذبذب أحـادي الشكل .

ويمكن عمل Q-Switching بعدة طرق . وواحدة من هذه التقنيات ، يتم بتدوير مرآة أو موشور « بُورو » بسرعة عالية مثلاً ٣٠,٠٠٠ دورة / دقيقة وعندما يتراصف هذا مع المرآة الثانية يتم تحرير طاقة شعاع الليزر شكـل (٥ ـ ٧) .



موشور بورو



خلية كير

شكل (٥ ـ ٧) Q-Switching

ويولد هذا النوع من الأجهزة نبضات ذات عرض (٥٠) نانو ثانية ولكن سرعة التشغيل المفتاحي تكون بطيئة نسبياً . وأسرع طريقة هي التي تستخدم مفتاح توليد كهروبصري ، كما مبين في الشكل (٥ ـ ٧) .

وتحتوي خلية «kerr» علىٰ النتروبنزين الواقع بين زوج من الأقطاب . وعند تسليط مجال كهربائي ، فسوف يحتث محور بصري ، موازٍ لآتجاه المجال الكهربائي . ويوجد فقط على طول والمحور البصري معامل الإنكسار على اتجاه استقطاب الضوء . ويمكن تحليل الضوء المستقطب استقطاباً إستوائياً المحتث في الخلية عادة ، إلى مركبة تهتز بشكل موازٍ مع محور البصر ، وإلىٰ مركبة أخرىٰ تهتز عمودياً على محور البصر . أما سرعة المركبتين ضمن الخلية فستكونان مختلفتين ، وعند بزوغهما من البلورة فستكونان بطورين مختلفين . وعموماً فإن الخرج سيكون مُستقطباً بشكل إهليجي . وإذا كانت زاوية السقوط للاستقطاب الإستوائي الساقط هي (٤٥°) مع محور البصر وفرق الطور من مضاعفات $\frac{\pi}{2}$، فإن الخرج سيكون مستقطباً استقطاباً دائرياً . في الشكل (٥ ـ ٧) يتم استقطاب الضوء الخارج من التجويف استقطاباً استوائياً بواسطة المستقطِب ويُحول إلىٰ ضوء مستقطب دائرياً بواسطة خلية « كير » . وتعمل مرآة التجويف لتعكس الضوء المستقطَب ولكي تعمل هذا فإنها تعكس اتجاه الاستقطاب . وهكذا فإن الذي يبزغ مرة ثانية من خلية « كير » يكون أيضاً مستقطباً إستوائياً ولكن بزوايا متعامدة مع الضوء المرسل من المستقطِب . وهكذا لا يمكن إرساله مرة أخرىٰ من قبل المستقطب إلى حين إطفاء المجال الكهربائي . وعندما يكون المجال الكهربائي دائراً ، يكون مسموحاً للتوزيع العكسي بأن يزيد ، وتشتغل المرايا عندما يتناقص المجال إلى الصفر . ويجب أن يتزامن التبدل في الجهد مع عملية الضخ . وبهذه التقنية يمكن إنتاج نبضات ذات عرض (١٠) نانوثانية .

وبالنسبة إلىٰ الكسب الأعلىٰ ، يتم إدخال صبغة مشبَّعة في وسط الليزر . وعادة فإن الصبغة تمتص بقوة عند الطول لليزر بحيث يكون من غير الممكن

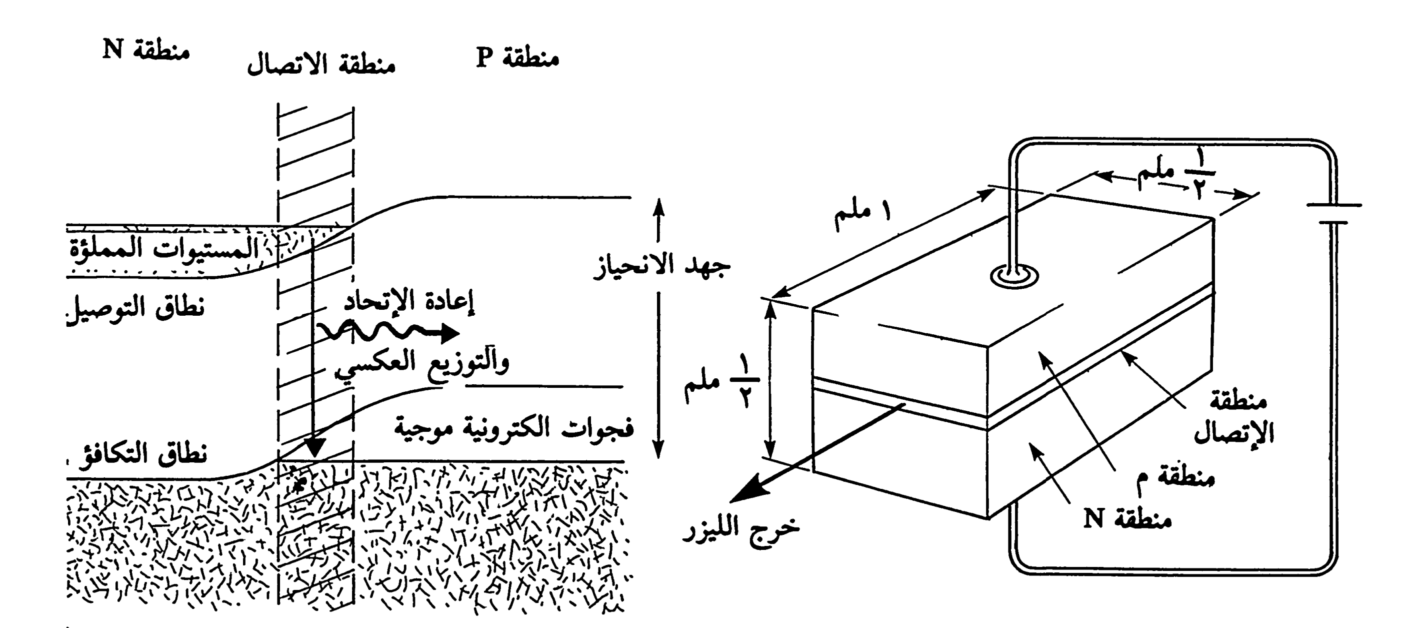
حدوث التضخيم . وفي تركيب التوزيع العكسي يتم التوصُّل إلىٰ نقطة يتجاوز فيها الكسب ، نتيجة الإنبعاث المُحفز ، الفقدان الحاصل ويبدأ عمل الليزر . وتصبح الصبغة مشبعة بالفيض البصري ، وتحول بشكل سريع جداً إلى حالة الشفافية . ويتم إطلاق الطاقة المخزونة في التوزيع العكسي آنياً كنبضة بصرية لبضعة نانو ثانية . إن خصائص الصبغة ، مثل مقطعها الامتصاصي والثوابت الزمنية ، يتم مواءمتها بعناية مع المادة المضيفة . وهذه الطريقة الكيمياوية الضوئية ملائمة جداً للتطبيقات غير المهمة .

والطريقة الأخرىٰ للسيطرة علىٰ النبضات الخارجة هي باستخدام تقنية إغراق التجويف . هنا يسمح بإنشاء التوزيع العكسي إلى قيمة قصوىٰ كما في الوقت الذي يُفتتح فيه المفتاح الإلكتروبصري للسماح للطاقة المخزونة لإغراق التجويف بإشعاع بصري . ولا يسمح بخروج الإشعاع أو بعضه من التجويف إلى حين تحول كل الطاقة . وفي هذا الوقت فإن المفتاح يفتح قناة ثانية بحيث تنبعث كل الطاقة البصرية على شكل نبضة مضروبة بمقدار (١)نانو ثانية . وبهذه التقنيات يمكن تحقيق دقة قياس المدىٰ إلى حدود (١٠) سم .

والأنواع الأخرىٰ من ليزر الحالة الصلبة هي الهولميوم في فلوريد الليثيوم اليتيريوم كمادة مضيفة التي تبدأ بالانبعاث عند (٢,٠٦) مايكرومتر وعنصر الأربيوم في الزجاج الذي يبدأ بالإنبعاث عند (١,٥٤) مايكرومتر . وكل من الطولين الموجيين لهذا الليزر هما دون الحد الأقصىٰ لإرسال القرنية ويعتبران كأمان للعين . والمشكلة هي عدم وجود مادة كفوءة مثل كفاءة Nd:YAC كما أنها تحتاج إلىٰ طاقة دخل كبيرة من أجل تحريكها .

د . ليزرات الحقن شبه الموصلة :

تعمل هذه المنظومات على مبدأ وصلة p-n بانحياز أمامي بحيث تحقن الفجوات الموجبة من منطقة (p) باتجاه منطقة (n) ويعاد جمعها مع الإلكترونات في الوصلة لتعطي طاقتها على شكل حرارة أو ضوء . ويبين الشكل (٥ ـ ٨ أ) مبدأ العمل والشكل (٥ ـ ٨ ب) الترتيب الفيزياوي لهذا الليزر .



شكل (٥ ـ ٨) ليزر شبه موصل

في الكثافات العالية للتيار القريبة من (٥٠٠) أمبير سم$^{-٢}$ ، تتصرف وصلة p-n في الغاليوم أرسنايد كما لو آنَّ لها معامل امتصاص سالب للإشعاع بحيث يتم تضخيم الإشعاع خلال مروره في منطقة الاتصال ؛ وإذا تم جعل هذه الوصلة على شكل مرنان بصري ، فعندئذٍ تصبح المنظومة عبارة عن ليزر .

ويمكن الحصول علىٰ مخارج بعدة ملي واط عندما تكون الكفاءات بحدود ٥٠٪ في نطاق الطول الموجي بين (٠,٨٤) مايكرومتر و(٠,٩) مايكرومتر كما ويوفر تضمين الخرج السهولة للمواصلات وحساب المدىٰ .

إن ليزرات الغاليوم أرسنايد هي بلورات ثنائية ضوئية ذات كفاءة عالية وحجم متراص ، ويمكن تضمينها بواسطة مجهز تيارها الدافع . وهي من ناحية ثابتة ذات قدرة واطئة وانحراف حزمة كبير ، ولذلك يكون استعمالها محدوداً في عملية إيجاد المدىٰ وإلى حد (١٠٠) متر .

٥ ـ أمان الليزر :

أ . معايير الحماية :

إن قرنية العين تكون شفافة للإشعاع البصري في المدىٰ من (٠,٤٥) مايكرومتر إلىٰ (١,٤) مايكرومتر . ويتم تركيز الإشعاع الليزري في هذه المنطقة على الشبكية . ولذلك يكون تلفها من السهولة بسبب حساسيتها . والجدول رقم (٣) مستخلص من معيار الدفاع للمملكة المتحدة ٠٥ ـ ٤٠ الإصدار الثاني عام ١٩٧٧ الذي يعرِّف معايير الحماية لمختلف الأطول الموجَية لليزر الموجة المستمرة ولِلّيزر النبضي .

الجدول رقم (٣) معايير الحماية

(مستخرج من معيار الدفاع للمملكة المتحدة ٠٥ ـ ٤٠ الإصدار الثاني ١٩٧٧ والذي يجب الإشارة إليه للمعلومات الدقيقة الأمنية) . ولا يعتبر هذا الجدول توصية رسمية ولكن لبيان التأثير النسبي فحسب .

نوع الليزر	الخرج	الطول الموجي (مايكرومر)	التعرض	معيار الحماية في القرنية
ياقوت	نبضة أحادية	٠,٦٩٤	١ نانو ثانية ـ ١٨ نانو ثانية	٥×١٠$^{-٧}$ جول سم$^{-٢}$
النيوديميوم	نبضة أحادية	١,٠٦	١ نانو ثانية ـ ١٠٠ ثانية	٥×١٠$^{-٦}$ جول سم$^{-٢}$
غاليوم أرسنايد	نبضة أحادية	٠,٨٥	١ نانو ثانية ـ ١٨ ثانية	١٠$^{-٦}$ جول سم$^{-٢}$
الهولهيوم	نبضة أحادية	٢,٠٦	١ نانو ثانية ـ ١ ثانية	١×١٠$^{-٢}$ جول سم$^{-٢}$
ثاني أوكسيد الكربون	نبضة أحادية	١٠,٦	١ نانو ثانية ـ ١ ثانية	١×١٠$^{-٢}$ جول سم$^{-٢}$
هيليوم نيون	موجة مستمرة	٠,٦٣	٠,٢٥ ثانية	٢,٥ ملي واط سم$^{-٢}$
آركسون	موجة مستمرة	٠,٥	٠,٢٥ ثانية	٢,٥ ملي واط سم$^{-٢}$
النيوديميوم	موجة مستمرة	١,٠٦	١٠٠ ثانية	٠,٥ ملي واط سم$^{-٢}$
ثاني أوكسيد الكربون	موجة مستمرة	١٠,٦	١٠ ثانية ـ ١٠٠ ثانية	٠,١ واط سم$^{-٢}$

ويعرَّف معيار الحماية على أنه كثافة إشعاع الليزر إلى القرنية ، مقاساً بالجول سم$^{-2}$ لكل نبضة بالنسبة لِلَّيزرات النبضية وبالواط سم$^{-2}$ لِلَّيزرات ذات الموجة المستمرة .

ويتبين من هذا الجدول معيار الحماية المنخفض إلىٰ حد بعيد لِلَّيزر النبضي الياقوتي والتحسن في ليزر النيوديميوم النبضي بمقدار = ١٠ . ومعيار الحماية لليزر ثاني أوكسيد الكربون وليزر الهولميوم النبضي هو ١ × ١٠$^{-2}$ جول سم$^{-2}$ ، وهو تحسن إضافي بمقدار (٢٠٠٠) مرة على ليزر النيوديميوم ، لأنه يتم امتصاص كل إشعاع الليزر في القرنية التي لها حد تلف أكثر بكثير من حد الشبكية .

كما وتظهر نفس المزايا في استخدام الأطوال الموجية الطويلة لليزرات الموجة المستمرة . ويكون معيار الحماية لثاني أوكسيد الكربون (١ , ٠) واط سم$^{-2}$ وهو أكبر بمرتين من حالات الجسم الأسود المحيطي .

ب . المسافة الخطرة المؤثرة على البصر :

يحدد معيار الدفاع (NOHD) لعمليات المدىٰ ويعرف أنه المسافة التي عندها تهبط شدة الليزر إلىٰ مستوىٰ معيار الحماية المناسب ، ويُعطىٰ بالصيغة التالية :

$$NOHD = \frac{\sqrt{\frac{1.27Q(\hat{\imath}M^2)}{P_5}} - a}{\varphi}$$

حيث Q = طاقة الليزر (جول) أو (واط) .
P_5 = معيار الحماية ، (جول سم$^{-2}$ أو واط سم$^{-2}$) .
φ = انحراف الحزمة (زوايا قطرية) .
a = قطر الحزمة المنبثقة عند $\frac{1}{e}$ من ذروة الشدة .
$\hat{\imath}$ = إرسال الآلة البصرية في حالة استعمالها .
M = قدرة التكبير للآلة البصرية في حالة استعمالها .

والـ NOHD لبعض مقدرات المدىٰ الليزرية مبينة في الجدول (٤) .

الليـزر	NOHD
ياقوتة شيفتين LE2	١٠ كم
SIMRAD LP7	٣ كم
تحديد المدىٰ والبحث عن الهدف بالليزر	٢٠٠ كم
ليزر ثاني أوكسيد الكربون (٢ واط)	مدىٰ صفر

وعامل الأمان الإضافي الذي يجب أخذه بالحسبان هو أنه من الضروري السماح « للنقاط الساخنة » أو إطلاق الشرر في الحزمة . ويتم اختيـار عامـل المضاعفة بمقدار (١٠) للشدة لفرض زيادة NOHD بمقدار $\sqrt{١٠}$ لتعريف NOHD المتسع .

وتُفرض عوامل التصحيح الإضافية على الليزرات النبضية المتكررة التي لها فترات نبضية أقل من (١٠) مايكروثانية ؛ مثلاً في حالة جهاز تحديد المدىٰ والبحث عن الهدف بالليزر (LRMTS) فإن معيار الحماية يقل بمقدار (٣) . وتأخذ العوامل الأخرىٰ بنظر الاعتبار الحساسيـات المختلفة للشبكيـة بالنسبـة للأطوال الموجية بين (٠,٧) و (١) مايكرومتر .

ومنظومة تصنيف خطر الليزر ، تصنف الليزرات إلىٰ أربعة أصناف طبقاً لتأثيرها الخطر . والليزر صنف (I) ليس له قيود لأن NOHD الخاصة به تكون صفراً ، ويتطلب الصنفين (II) و (III) نظارات حماية بينما ليزر الصنف (IV) يطلق الإشعاع والذي يكون خطراً على العين والجلد حتىٰ بعد الإنعكاس من السطوح الناشرة ويجب احتواؤه كلياً . والنظارات الخاصة تكون متاحة وموضّحاً عليها التوهين الذي توفره ضد الطول الموجي لإشعاع الليزر .

٦ ـ تطبيقات على المراقبة وتحصيل الهدف :

أ . الاستخدامات :

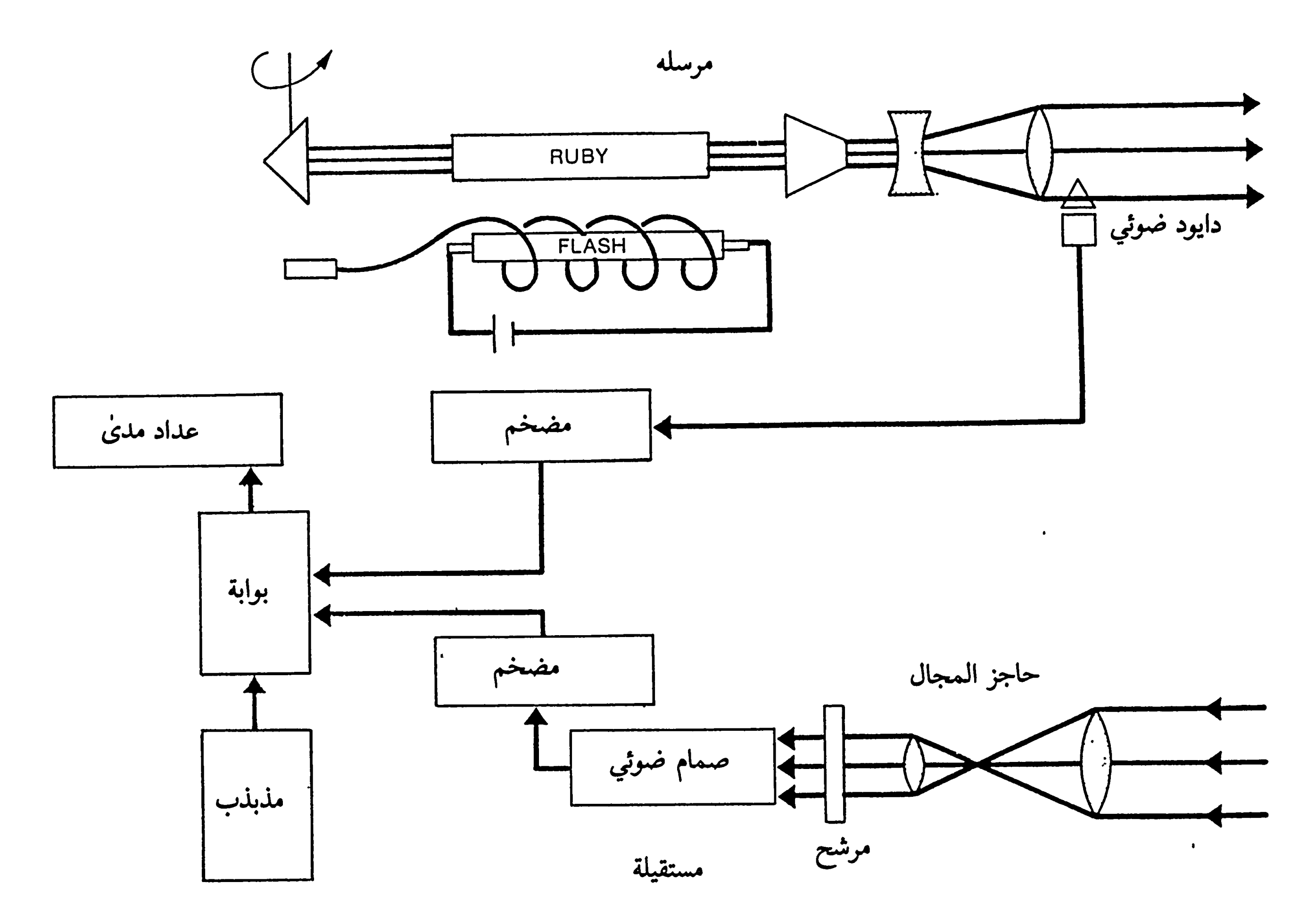
يصف هذا الفصل مبادىء عمل بعض المعدات في الخدمة المنتجة لأغراض قياس المدىٰ وتخصيص الهدف ، والإضاءة والتتبع وأيضاً مُشبِّه الرمي المباشر الذي يعمل بالليزر الذي يستخدم في التدريب المدفعي .

ب . مبادىء إيجاد المدىٰ :

لقد حسَّن جهاز إيجاد المدىٰ بشكل هام عمليات الضربة الأولىٰ في المسافات الطويلة . وتُطلق مقدرة المدىٰ الليزرية حزمة نبضات ضوئية قصيرة كثيفة وذات تسديد عالٍ حيث تنعكس عن الهدف رجوعاً إلى المستقبلة . ويتم قياس وتحويل الزمن المستغرق للنبضة الأحادية للسير إلى الهدف والعودة إلىٰ قراءة مباشرة للمدىٰ .

وبالنسبة لتطبيقات إيجاد المدىٰ فمن المهم تحقيق قدرة خرج عالية ونبضة ذات عرض ضيق ، لأن هذا التجميع يعطي مدىٰ كشف طويل وقدرة تفريق جيدة . وأغلب أجهزة إيجاد المدىٰ العاملة بالليزر في الوقت الحاضر تستعمل ليزرات الحالة الصلبة نوع Q-Switched . ومثل هذه الليزرات تعطي قدرة تفريق للمدىٰ حوالي ± ٥م وإلى مديات (١٠) كم ضمن انحراف حزمة (٥ , ٠) ملي راد . (mrad) .

ويبين الشكل (٥ ـ ٩) مخطط لمقدرة المدىٰ الليزرية . يتم ربط خرج الليزر إلى تلسكوب إرسال صغير الذي يقلل انحراف خرج التجويف وبذلك يزيد المدىٰ . وتتم تغذية جزء من الخرج إلىٰ دايود ضوئي الذي يوفر نبضة البداية لعداد المدىٰ . وتنعكس حزمة الليزر عن الهدف وتجمع بعض الطاقة من قبل العدسة المستقبلة حيث يتم تركيزها علىٰ المكشاف . وتتم حماية المكشاف بواسطة مرشح تداخلي ضيق النطاق يعمل علىٰ تقليل الضوضاء المصاحبة له . وتجري عملية تضخيم وترشيح خرج المكشاف إذا كان أعلىٰ من قيمة الحد



شكل (٥ ـ ٩) مبدأ عمل مقدرة المدىٰ الليزرية النبضية

المقبول ، فتستعمل لإيقاف عداد المدىٰ . هي قياس للمدىٰ حين يتم تمويلها إلى القراءة مباشرة .

يقوم مشغل مقدرة المدىٰ بالتسديـد من خلال تلسكـوب بصري بحيث يضع الهدف في مجال الرؤية . ثم يضغط زر الرمي الذي ينشط نبضة الإرسال ثم يبين المدىٰ آنياً في مجال الرؤية اللامع . كما وتظهر المعلومات الأخرىٰ في مجال الرؤية مثل حالة الشحن للبطارية . وفي بعض الحالات تكون الـدائرة المنطقية قادرة علىٰ التمييز بين عدة أهداف محتمل ظهورها .

ولمعدات قياس المدىٰ أسبقية في مشاغلة أسلحة النار المباشرة أو كجزء مكمل لأسلحة الرمي المباشر مثل مدافع الدبابات .

إن مقدرة المدىٰ الليزرية النبضية يمكن حملها من قبل شخص واحد وهي

تزن حوالي (٣) كفم . كما توجد مقدرة مدىٰ أخرىٰ تزن حوالي (٣٠) كفم تُثبت علىٰ الدبابات أو الطائرات العمودية .

جـ . مقدرات المدىٰ الميدانية :

يلخص الجدول (٥) خصائص آلتين ميدانيتين لمقدرات مدىٰ ليزرية . لقد تم تطوير مقدرة مدىٰ LF-2 لاستخدامها على الدبـابة جفتن . وتستخـدم المنظومة ليزر ياقوتي مع مفتاح Q لموشور يورو الدوامي لتوليد نبضة خـارجة بعرض (٤٠) نانوثانية ، ولكن الصبغة السلبيـة نوع Nd:YAG متـوفرة حـالياً بعرض نبضة (١٠) نانوثانية .

ومقدرة المدىٰ LF-2 متطابقة مع محور المدفع الرئيسي للدبابة ، وتوضع المسددة علىٰ الهدف من قبل المدفعي باستخدام مقياس عيني . ويظهر مدىٰ الهدف للمدفعي علىٰ العدسة العينية الى جهة اليسار ليستخدم هذه المعلومات ليرفع محور المسددة والمدفع إلىٰ أن تتطابق علامـة التهديف علىٰ الأهـداف المختارة طبقاً للمدىٰ ونوع الذخيرة المستخدمة . ويثبت مدفع الدبابة لتوليـد المسار البالستيقي الصحيح نحو الهدف . وفي بعض الأشكال تربط المسددة مباشرة إلى الحاسبة للمراجعة السيطرة علىٰ الرمي المباشر . في هذا الأسلوب تسيطر الحاسبة علىٰ الأشعة الكاثودية المستخدمة كعلامة تهديف والموجودة في منظومة التسديد للمدفعي ، أو يمكن استخدامها بالارتباط مع جهاز التصويـر الحراري لكي توفر للمدفعي قـابلية قيـاس المدىٰ ليـلاً أو في ظروف الـرؤية الضعيفة .

وقد نال ليزر ثاني أوكسيد الكربون اهتمامـاً خاصـاً في عمليات قياس المدىٰ ، وله عدة محاسن علىٰ ليزرات النيوديميوم والياقوت . أولها ، له نفاذية جوية متزايدة وأقل حساسية للضباب وأدخنة ساحة المعركة . وثانيها ، أن جهاز مقدرة المدىٰ لثاني أوكسيد الكربون يكون منسجماً بصرياً مع وسائل التصوير الحراري والتي تطورت الآن لاستخدامها في نطاق الأشعة دون الحمراء البعيدة والنشاط التعاوني ، مع بصريات وكاشف مشترك . والميزة الثالثة هي أن النظارة

جدول رقم (٥) مقدرتا مدىٰ ليزرية ميدانية

البارامتـــر	الوحدات	مقدرة مدىٰ محمولة نوع SIMRAD LP7	مقدرة مدىٰ ليزرية للدبابة LF2
المرسلة			
النوع	—	Nd:YAG	ياقوتة .
الطول الموجي	متر	١,٠٦٤	٠,٦٩٤
قدرة خارجة	ميكاواط	٠,٥	١
عرض النبضة	نانوثانية	٨	٤٠
طاقة خارجة	ملي جول	٤	٤٠
تردد تكرار النبضة	هيرتز	رمية مفردة أو متواصلة	رمية مفردة
قطر الحزمة	سم	٣	٤,٧
انحراف الحزمة	ملي راد	٢	٠,٥
المستقبلة			
مجال الرؤية	ملي راد	١,٣	٣
الفتحة	سم	٤,٥	٤,٧
كاشف	—	الإنهيار السليكوني للدايود الضوئي	مضاعف الضوء
المدىٰ الأدنىٰ	متر	١٥٠	٥٠٠
المدىٰ الأقصىٰ	متر	٤٠٠٠	١٠,٠٠٠
الدقة	متر	± ١٠	± ١٠
المسددة			
مجال الرؤية	ملي راد	١٢٠ (٧°)	١٥٣ (٨,٥°)
التكبير	—	×٧	×١٠
مجهز القدرة			
النوع	—	١٢ فولت ، ٠,٤	مجهز للعجلة ٢٨ فولت
عدد الرميات	—	٦٠٠	١٠ رميات / دقيقة
الوزن			
مقدرة المدىٰ والبطارية	كفم	١,٧ (٣,٧ باوند)	٣٦ كفم الوزن الكلي

غير منفذة (معتمة) للطول الموجي (٦, ١٠) مايكرومتر ، لذلك فإن مُشغلي منظومات الرؤية المباشرة التقليدية ، مثل النواظير ، سيكونون محميين بالبصر الأمامي . والميزة الإضافية المهمة الأخرىٰ لليزر ثاني أوكسيد الكربون هي أن العين تكون أقل حساسية بكثير للإشعاع بطول موجي (٦, ١٠) مايكرومتر من حساسيتها للضوء المرئي أو الضوء القريب من الأشعة دون الحمراء . وهـذا بسبب أن الشبكية أكثر تحسساً للأذىٰ من القرنية التي لا ترسل الأطوال الموجية الأكبر من (٤, ١) مايكرومتر .

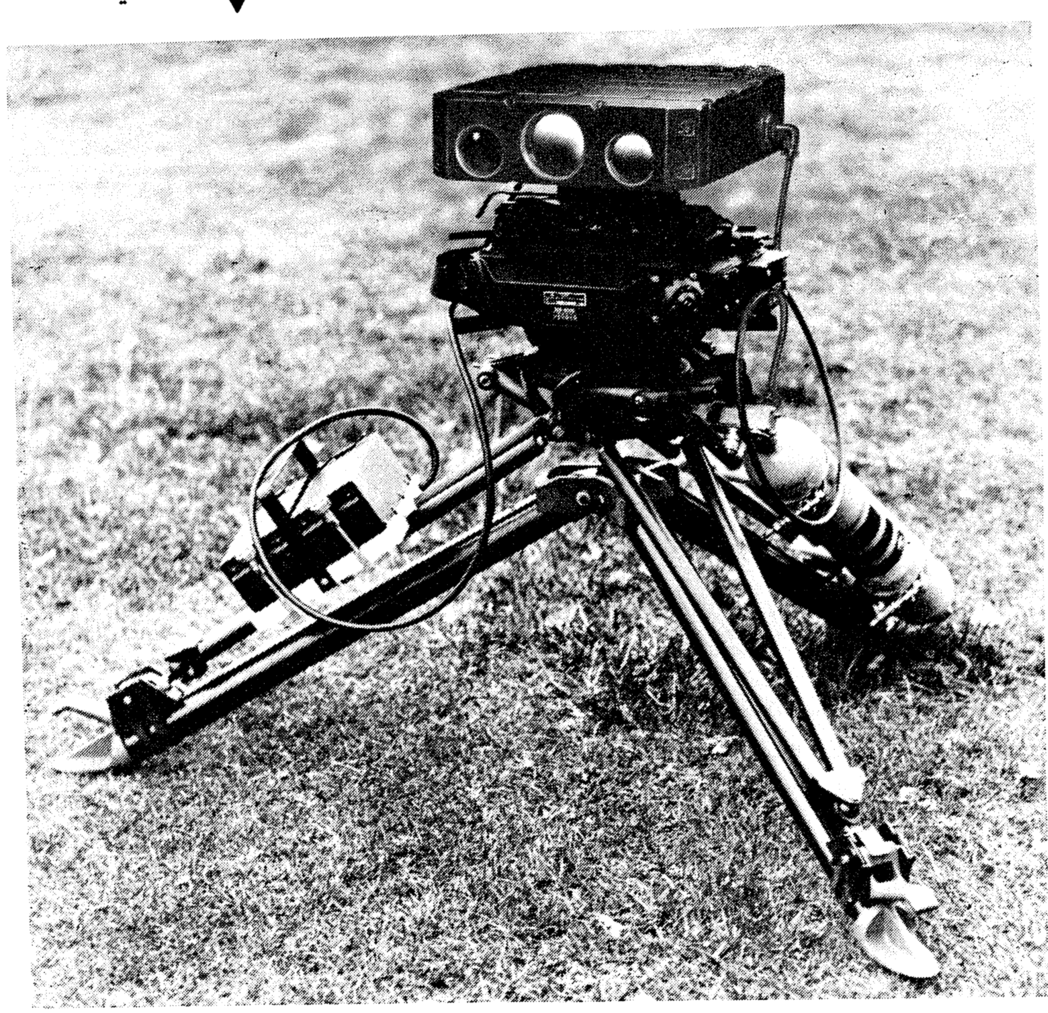
وتعمل مقدرة المدىٰ الليزرية Co_2 بالإطلاق المفرد بنبضة (٥٠) نانوثانية وبقطر (٥) سم لفتحة عدسة الجرمانيوم ، سوف لن يتجاوز معيار الحماية لأذىٰ القرنية وحتىٰ عند مدىٰ صفر لذروة خرج القدرة الأقل من (٥) ميكاواط والتي تعتبر فسيحة لعمليات قياس المدىٰ . ويمكن لليزر Co_2 مستمر الموجه ، أن يعمل وبقطر (٥) سم ، إلى حد خرج (٢) واط قبل اجتياز حد أذىٰ القرنية وهذه أيضاً قدرة متسعة لتطبيقات قياس المدىٰ . ولهذه الليـزرات NOHD = صفر وهي في الواقع أمينة للعين .

وقد تم تطوير مقدرات مدىٰ ليزرية نوع Co_2 من قبـل شركتي فيـرانتي وماركوني . وتستند كل واحدة إلى الليزر الجوي المستثار بشكل مستعرض . وقامت شركة فيرانتي بتطوير واختبار نوعين نبضيين ؛ أحدهما يزن (١٦) كغم وينتج قدرة (٣٥٠) كيلو واط وبفتحة (١٥) سم وبطول نبضـة (٦٠) نانـوثانيـة ومـدىٰ أقصىٰ (٦) كم وتستخـدم كـاشف مستقبـل يشتغـل بـدرجـة حـرارة (٨٠) گلفن وبمنظومة تبريد الهواء المضغوط جول تومبسون . والنوع الآخر يزن (٧) كغم ويشتغل على أقصىٰ مدىٰ (٢٠) كم وبقدرة قصوىٰ (٦٠٠) كيلو واط عبر فتحة (٨) سم مع طول نبضة (٦٠) نانو ثانية باستخـدام كاشف CMT . وقامت شركة ماركوني بتطويـر واختيار جهـاز بقدرة (٢٢٠) كيلو واط وبنبضـة (٦٠) نانو ثانية يعمل على مدىٰ (٩) كم ويستخدم كاشف LLT . ويمتاز كلا النوعين بدقة ± ٥ كم انظر الشكل (٥ ـ ١٠) .

◀ فيرانتي نوع ٣٠٧



▼ ماركوني علامة III

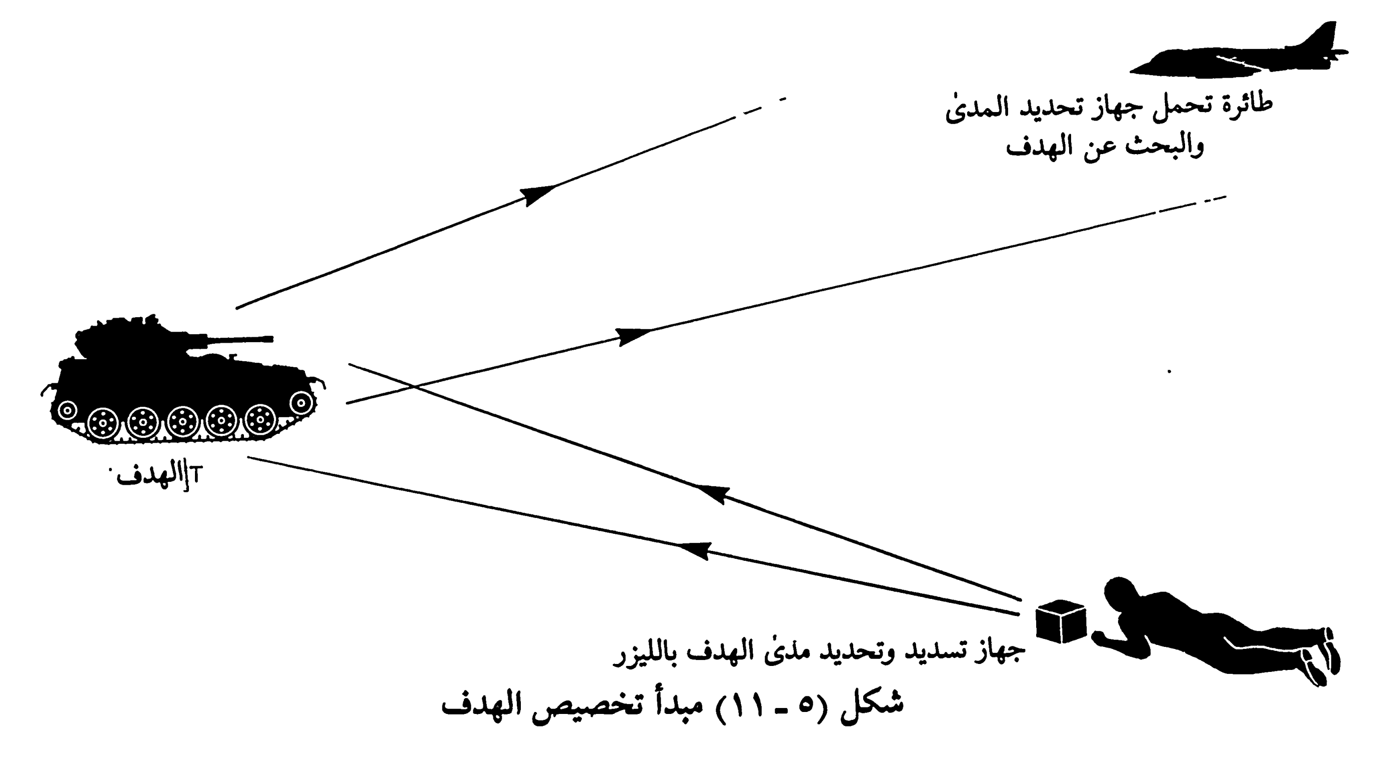


شكل (٥ - ١٠) مقدرتا مدىٰ تستخدمان ليزر Co_2

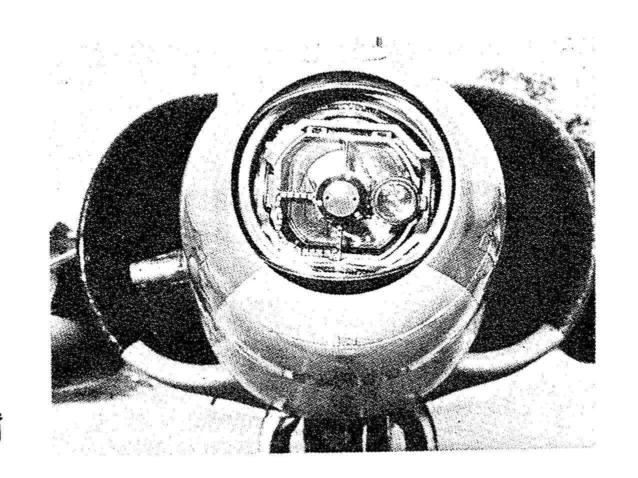
د . تخصيص الهدف :

إن الغرض من استخدام معدات الليزر هو لتحسين فعالية الإسناد الجوي القريب والمدفعية . ومبدأ تخصيص الهدف هو أن الهدف يضاء بحزمة الليزر ، وأن الكاشف في مقدمة الطائرة أو قذيفة المدفعية (القنبلة الزكية) توجه ذاتياً باتجاه الضوء المنعكس من الهدف . وتضمن الحزمة الليزرية الضيقة الدقة واختيار الدلالة للمديات إلىٰ حد (١٠) كم وتقلل من فرص الكشف من قبل العدو . ويمكن تشغيل جهاز التخصيص من قبل الجندي على الأرض أو يمكن حمله بطائرة تعاون . ولليزر مزايا عظيمة مقارنة بالرادار التقليدي لأنه قادر علىٰ توفير بيانات دقيقة جداً لمعدل قياس المدىٰ عند الزوايا السطحية التي تصادف في الهجوم الجوي الواطيء للأهداف الأرضية .

وتحتوي المنظومة الخاصة بالقوات البريطانية على جهاز تسديد وتحديد مدىٰ الهدف بالليزر (LTMR) يُشغل بواسطة المسيطر الجوي الأمامي (FAC) ومجموعة متناسقة من المعدات في الطائرة تعرف بجهاز تحديد المدىٰ والبحث عن الهدف بالليزر (LRMTS) ، والفكرة موضحة في الشكلين (٥ ـ ١١) و(٥ ـ ١٢) .



شكل (٥ ـ ١١) مبدأ تخصيص الهدف



أ . LRMTS في طائرة الهارير

ب . LTMR

شكل (٥ ـ ١٢) جهاز

فعند اقتراب الطائرة من الهدف يتم تحفيز (LTMR) من قبل المسيطر الجوي الأمامي حيث يطلق دفقاً من النبضات الليزرية تضرب الهدف . ويتم كشف الطاقة المنعكسة بواسطة جهاز كشف الرمي في (LRMTS) لتنشيط محركات المؤازرة لوضع محور التسديد البصري بالتوافق مع الهدف وتعطي الطيار معلومات اتجاهية لتمكينه من تحصيل وتتبع الهدف طوعياً . ويقود الطيار الطائرة بحيث يطابق علامة التسديد ، الموجودة في المبين العلوي مع الهدف . وحالما يقفل المنظومة على الهدف فإن جهاز إيجاد المدىٰ (LMRTS) يقتبس المدىٰ من (LMTR) ليعطي الطيار التحديثات المستمرة لمدىٰ الهدف . ومهمة الطيار بعد ذلك استخدام معلومات قياس المدىٰ ومعلومات الهدف في المبين العلوي الذي أمامه ليؤشر الزمن الدقيق للإطلاق الطوعي للسلاح . وإذا لم يتوفر (LTMR) يمكن استخدام المعدات المحمولة جواً في تحديد المدىٰ ولكن مهمة الطيار ستكون أكثر صعوبة . ويمكن استخدام (LTMR) لسلسلة من المعدات المطورة للتوجيه الذاتي للأهداف المضاءة بالليزر .

ويستخدم جهاز (LRMTS) المُصنَّع من قبل شركة « فيرانتي » ، في طائرات الجاكوار والهارير والتورنادو . ويشتغل على ليزر النيوديميوم الألكتروبصري القادر علىٰ الرمي بترددات تكرار نبضي في مدىٰ ١٠ ~ ٢٠ هيرتز ، أما الترددات الأعلىٰ فمفيدة للعمل مع الأسلحة الموجهة بالليزر مثل PAVEWAY والتي هي الآن قيد الخدمة في القوة الجوية الملكية البريطانية .

ويُطوىٰ تجويف الليزر لأغراض الاندماج والاستقرارية العالية للدخل ويُحقن الخرج في تلسكوب الإرسال والتسديد بصورة مجتمعة . ويستخدم الدايود الضوئي في الانهيار السليكوني في تحديد المدىٰ ، وكاشف الرمي لغرض السيطرة على الحالة .

وقد قامت مؤسسة مارتين مارتيا بتطوير قذيفة مدفعية موجهة بالليزر هي «Copper head» والتي صممت لتدمير العجلات المدرعة برمية واحدة أو اثنتين . ولهذه القذيفة كاشف يعمل بالليزر موجود في مقدمتها ، يبقىٰ محافظاً على تعجيله الخطي والدوراني وبدرجة حرارة عالية عندما يرمي المدفع .

هـ . إضاءة الهدف :

إن الحاجة العسكرية لتعزيز قابلية الرؤية الليلية أدت إلىٰ استخدام الليزرات لتحسين أداء مكثفات الصورة . وفي شكلها البسيط فإن مثل هذه الأجهزة تتكون من مصباح صغير يستخدم لإضاءة الهدف عندما تكون ظروف الإضاءة المحيطة غير ملائمة لمكثف الصورة ليؤثر لوحده . وواحدة من هذه الوسائل تستخدم ليزر الغاليوم أرسنايد علىٰ هيئة موجة مستمرة ذات قدرة (١٠٠) ملي واط ويعطي قطر نقطة يتراوح بين (١,٥) متر و(٨) متر في مدىٰ (١٠٠) متر .

وقد طورت منظومات أكثر تعقيداً تستخدم رؤية ذات مصدات للهدف . وهذه التقنية تقلل بشكل كبير تأثير الإستطارة الخلفية للغلاف الجوي والذي يعتبر السبب الرئيسي في انحلال التباين في الإضاءة التقليدية للهدف بواسطة الإشعاع غير المتشاكه للأشعة دون الحمراء القريبة . وفي الليزر النبضي فإن هناك حاجة لتشغيل المستقبلة فقط لفترة زمنية قصيرة بعد إطلاق كل نبضة ، وبذلك فإن تأثير الإستطارة الخلفية سيقل إلى حد كبير . ويمكن أن تكون الرؤية مباشرة بواسطة مكثف الصورة أو غير مباشرة بواسطة إدخال الكاميرا التلفزيونية . والطريقة الأخيرة تعرف بتلفزيون الإضاءة المنخفضة المستوىٰ .

و . التتبع :

إن الليزرات أكثر ملاءمة لتتبع الأهداف وخصوصاً في العمليات ذات المستويات الواطئة والعمليات الليلية . وغالباً ما تكون مقدرة المدىٰ العاملة بالليزر جزءاً من منظومة التتبع . إن متطلبات تتبع قمر صناعي هي ليست نفسها المطلوبة في تتبع الصاروخ أو الطائرة لأن المعدلات الزاوية تختلف بشكل واسع ؛ وفي هذه المجموعة الأخيرة هناك متطلبات مختلفة للأهداف المعادية والمتعاونة . ومن المحتمل في كل الحالات تقريباً ، أن تكون هناك حاجة إلىٰ الرادار التقليدي أو المنظار البصري ، ذي مجال رؤية واسع لتحصيل الهدف ، أو الأهداف ، قبل التخلي عنهما إلى جهاز تتبع يعمل بالليزر أكثر دقة ، ولكن

بمجال رؤية أضيق . والتشابه في علم الفلك هو في استخدام تلسكوب بزاوية واسعة لاستمكان الجسم النجمي ثم التحول إلى تلسكوب آخر بقدرة عالية وحزمة ضيقة لغرض دراسة تفاصيله .

وتشتغل منظومة التتبع الليزرية على نفس مبادىء الرادار التقليدي ولكنها تمتلك ميزات مهمة على نطاق الموجة الدقيقة . وبسبب أن طول موجة الليزر أقصر بكثير فإن حجم المنظومة يكون أصغر بالمقابل . وحيث أن فتحة الليزر كبيرة مقارنة مع الطول الموجي فإن حزمة الليزر القريبة من الحيود سيكون لها موجهية عالية . إن جمع الإتجاهية مع الطول الموجي القصير يجعل منظومة الليزر أقل تحسساً للتداخل منها في منطقة الموجة الدقيقة حيث تزداد التأثيرات المتعددة للطريق . ويصبح إرسال الحزمة الجانبية لليزر أقل بكثير مما في الأمواج الدقيقة ، مما يجعل الكشف أكثر صعوبة .

والمساوىء هي أن الليزرات حساسة جداً للتأثيرات الجوية وخاصة تلك التي تشتغل في الأنطقة القريبة من الأشعة دون الحمراء والمرئية ، ومشكلة أذى العين تكون أكثر حدة في المنطقة الطيفية . والليزرات النبضية تكون معرضة لتأثيرات ضوضاء الفوتون والتي لا تكون موجودة في ترددات الموجة الدقيقة بينما الليزرات العاملة باستمرار تتطلب تضميناً وكشفاً والتي تضيف تعقيدات أخرى إلى المنظومة .

وقد استخدمت أغلب أنواع الليزرات في مختلف منظومات التتبع . وليزرات الحالة الصلبة مثل الياقوت والنيوديميوم YAG ، والغاليوم أرسنايد شبه الموصل ، كلها استعملت في شكل نبضي Q-Switched ، بينما استخدمت كل من ثاني أوكسيد الكربون ، والهيليوم بتون والأرسنايد في أسلوب التشغيل المستمر مع أجهزة التضمين الخارجية .

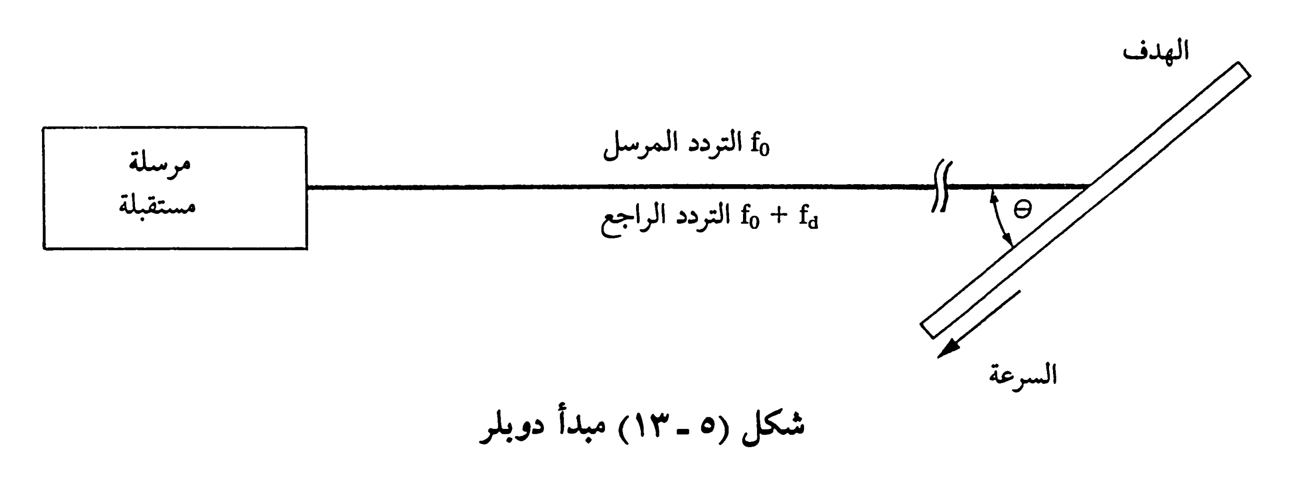
وعادة تتوسع حزمة الليزرات مع التلسكوب لكي تقلل من انحراف الحزمة وهناك عدة طرق لجمع الليزر مع التلسكوب لتوجيه الحزمة نحو الهدف . والترتيب الذي بموجبه أولاً يتم توسيع الحزمة ثم توجيهها يدعى Coelostat وإذا

وجهت الحزمة قبل توسيعها فإن الشكل يكون تلسكواً ذا جهارة . وسنوجز أدناه بعض الأمثلة على منظومات التتبع الليزرية ويمكن للقارىء الرجوع إلىٰ مقالات أكثر تخصصاً لأغراض الوصف التفصيلي .

وقد تم تطوير منظومة مركبة على شاحنة مقفلة متنقلة من قبل شركة سيلفانيا ، واستخدمت في تتبع طائرة التعاون . وتضمنت المنظومة إدخال ليزر النيوديميوم YAG مع نبضة خروج ذات قدزة (٥٠) ملي جول وبعرض (١٥) نانو ثانية قادرة علىٰ العمل بتردد تكرار نبضي (١٠٠) هيرتز . ويتم تنظيم مرآة الإرسال النهائي في الاتجاه والإرتفاع لإعطاء الهدف المستمر للهدف . ويكون تحصيل الهدف عبر صمام التصوير التلفزيوني بالقرب من مسددة الجُف (للتسديد الدقيق) وحالما يتم استمكان الهدف في شاشة التلفزيون تتحول المنظومة إلى التتبع الطوعي . وتوصل مصفوفة عاكسة خلفية إلى الطائرة لتعزيز إشارة الرجوع البصرية والتي تُمرر إلى الخلف على طول مسددة الجف كما في المرسلة خلال مرآة الإرسال ، وإلى فالق الحزمة ، ثم إلى مستقبلة قياس المدىٰ ومستقبلة التتبع . وهذه الأخيرة تقوم بإدخال كاشف الرمي للدايود السليكوني الذي ينتج إشارة الكترونية للميكانيكية المؤازرة لتنشيط المرآة لتثبيت محطة الهدف . وتستخدم إشارة مستقبلة قياس المدىٰ كنبضة توقف في عداد المدىٰ ، تقيس المدىٰ بنفس الطريقة الموصوفة في مقدرة المدىٰ . والمنظومة قادرة على التتبع بدقة زاوية تصل إلىٰ (١٠٠) مايكرو من الزوايا نصف قطرية في الإتجاه والإرتفاع وتستطيع إحكام الرمي إلى دقة تصل بين (٢,٠) متر و(١,٥) متر بالاعتماد على قوة الإشارة . ويصل المدىٰ الأقصىٰ إلى حوالي (٣٠) كم وسرعة الطائرة إلىٰ حد (١٨٠) م/ثانية ، ومن الممكن الحصول على معدلات زاوية إلى حد (٢) زاوية نصف قطرية / ثانية .

وكمثال على منظومة تتبع تعمل بالليزر مستمر الموجة ، هو ميدان رمي الصواريخ في وايت ساند في نيومكسيكو . وتستخدم لتتبع الصواريخ من لحظة انطلاقها وبدقة مدىٰ تصل إلى حوالي (١,٠) متر وبدقة تتبع (١٠٠) مايكروراد Mrad . وتستخدم المنظومة ليزر الأركون ـ أيون بقدرة خارجة

(٥) واط حيث يُضمَّن ويُرسل خلال مرآة قابلة للتعديل وبدقـة تصويب (٥٠) مايكرو راد . وتكون الحزمة ضيقة بما فيه الكفاية لضمان إشارة رجـوع كافيـة بدون مساعدة العاكسات الخلفية ، وهذا يلائم مشـاغلة الأهداف المعـادية . والمنظومة طوعية تماماً ، وتتم عملية اكتساب الهدف باستطارة حزمة الليزر على مجال رؤية ± ١ درجة . وحيث أن نقطة التهـديف (التصويب) تـوجه على مقدمة الصاروخ فإن الإشارة غير المرغوبة الآتية من العادم الساخن ستتناقص بشكل كبير . ويوضح الشكل (٥ ـ ١٣) منظومة ثالثة مختلفة كلياً ، تعمل على مبدأ دوبلر .

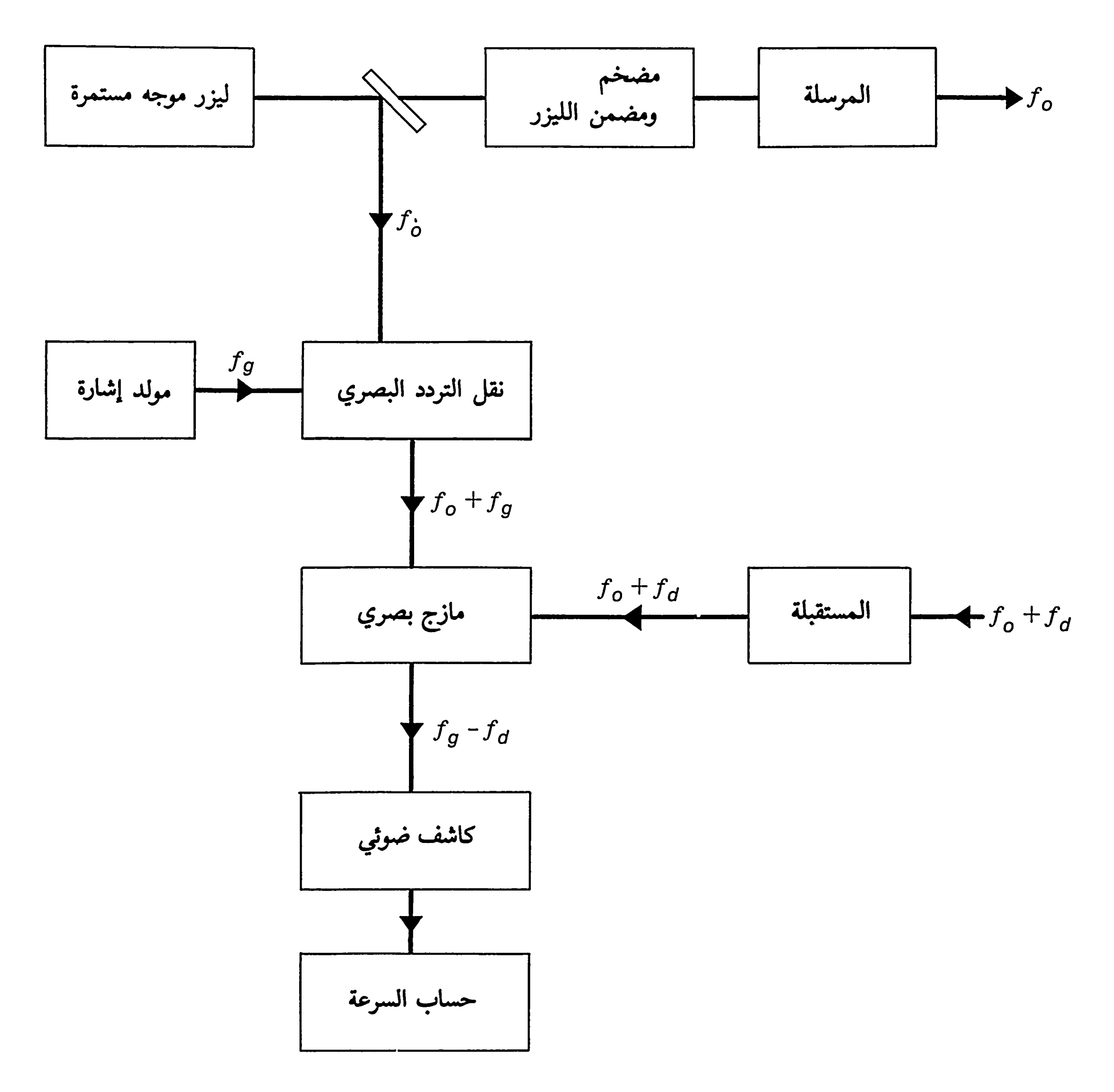


شكل (٥ ـ ١٣) مبدأ دوبلر

ويزداد تردد إشعاع الاستطارة الخلفية من الهدف الذي يسير بسرعة (V) وبزاوية (θ) باتجاه المرسلة ، بمقدار fd حيث :

$$fd = \frac{2V\, f_0\, \text{Cos}\theta}{C}$$

fo = تردد المرسلة و(C) سرعة إشعاع الليزر ، أما النقصان في التردد فإنه ينتج بالنسبة للهدف الذي يتحرك بعيداً عن المرسلة . ويـوضح الشكـل (٥ ـ ١٤) المبدأ المستخدم للحصول على القياسات المتطابقة للسرعة نصف قطرية بالإضافة إلى المدى للهدف المَتتبع .



شكل (٥ ـ ١٤) منظومة دوبلر

وتتم عملية تضمين وتضخيم إشارة الليزر ذات التردد (f_0) قبل إرسالها إلىٰ الهدف المتحرك ، الذي يُرجع الطاقة مُزاحةً بتردد دوبلر (f_d) . وحيث أن هذا التردد عادة سيكون عالياً جداً لتوجيهه من قبل الكاشف الضوئي ، فإنه يتم جمع تردد المقارنة (f_g) قبل كل شيء مع جزء من إشارة المذبذب الليزري ثم يمزج المجموع ($f_0 + f_g$) وبعد ذلك مع الإشارة الراجعة لتوليد فرق التردد ($f_g - f_d$) الذي يُغذىٰ إلى الكاشف الضوئي . وحيث أن (f_g) معلومة فإن تردد دوبلر (f_d)

يُعين بقياس $(f_g - f_d)$. بعد ذلك يمكن استنتاج السرعة نصف قطرية من المعادلة أعلاه ويتم استحصال مدىٰ الهدف من الطريقة المستخدمة في مقدرة المدىٰ النبضية .

إن قدرة التفريق الفضلى لجهاز التتبع الليزري تتم إزاحتها بواسطة مخروط بحث ضيق ، وهكذا فإن هذا يمكّن من اختيار الأهداف المفردة . إن الخليط من أجهزة التتبع الرادارية والليزرية تقدم أحسن تسوية وتستخدم بعض منظومات تضمين الموجة الدقيقة لحزمة الليزر لزيادة الحساسية .

وتشتغل منظومة دوبلر التي تستخدم (Co_2) ذات القدرة العالية المحتوية علىٰ مبين الأهداف المتحركة ، بهيئة التشغيل المتواصل المُضمن مع جهاز تتبع بصري ورادار لغرض تحصيل الهدف . ويستخدم الجهاز في تتبع الأهداف المتعاونة بدقة للسرع العالية جداً .

إن حلول أسلحة الليزر يفرض عدة متطلبات لتسديد وتتبع الحزمة عالية الدقة للأهداف السريعة الحركة والمناورة . ويكون سلاح الليزر فعالاً فقط إذا أمكن الاحتفاظ بحزمة الليزر على النقطة الواهنة للهدف لحين إنجاز عملية « القتل » . وبالنسبة لبعض الأهداف فإن هذا يتطلب تقلقلاً في التتبع يضبط لقيمة (١) مايكروراد M.rad لكي تحقق تداخلاً جيداً لنقطة العطب الليزرية خلال فترة المشاغلة . وإذا أريد استخدام جهاز تتبع فعال مثل ليزر مساعد فمن المهم اختيار جهاز له طول موجي مشابه للسلاح نفسه بحيث يجرب كل منهما نفس تأثيرات الإرسال الجوي ، كما يجب استخدام نفس مسددة الجُف لكليهما وكبديل يمكن استعمال حزمة سلاح الليزر عالي القدرة لأغراض التتبع بالإضافة إلىٰ إحداث تدمير شديد بواسطة الربط المتبادل بين النقاط الساخنة التي تولدها الأشعة مع بعض نقاط الدلالة علىٰ الهدف باستخدام التقنيات الألكتروبصرية السلبية لتسجيل صور هذه المعالِم .

ز . تشبيه الرمي المباشر :

تستخدم الليزرات كأداة مساعدة لتدريب طوائف الدبابة في الرمي

المدفعي المضبوط ضد الأهداف المتحركة ، وهكذا تُسهل بدرجة كبيرة المعضلات الإدارية والتنظيم وكُلف الذخيرة المترافقة مع تمارين تدريب الطائفة التقليدي . ويعمل المشبَّهُ الليزري بالطريقة التالية : عندما تقتنع الطائفة أن السلاح مسدد علىٰ الهدف فإن المدفعي يضغط على زر الإطلاق . ويطلق مولد الوميض النيران ويطلق الليزر المركب محورياً مع مدفع الدبابة ، نبضات لثانية أو ثانيتين ، حيث تُلتقط من الكاشفات الموجودة علىٰ الهدف حيث يرسل بشكل طوعي إشارة تدل على « الإصابة » أو « الخطأ » بواسطة اللاسلكي ، وهي النتيجة التي تؤشر بواسطة العدسة العينية للمدفعي . وإذا كانت الإصابة مُخدشة فيتم إشعال المشعل الدخاني علىٰ دبابة الهدف ، ويتم إطفاء الليزر الخاص بها وتعطيل اللاسلكي . وهذه يمكن إعادة تنشيطها بواسطة تأخير الضبط . ويُسمىٰ مشبه التدريب لمدفع الدبابة SIMFIRE . ويتكون من ليزر غاليوم أرستايد ويطلق سلسلة من النبضات (٠,٦) ملي جول وعرض (١٠٠) نانو ثانية مع تردد التكرار الممتد من (٢٨٠) هيرتز إلىٰ (٣٠٠) هيرتز . وتشتغل المنظومة من (٤٠٠) متر إلى (٢٠٠٠) متر .

وتغطي كاشفات الهدف كل منها (٩٠) درجة في الإتجاه و(٣٥) درجة في الإرتفاع ؛ ويتطلب أربعة كاشفات لتمثيل برج الدبابة . وتبلغ أبعاد منطقة الهدف التي يتم فيها القتل (٣ م × ٢ م) . وتكون الوصلة اللاسلكية بلورية وتعمل بالتردد (٧٩) ميكاهيرتز . ويتم تنشيط الوصلة عندما يتم استلام استجابة نبضات الليزر من واحدة من وحدات الكاشف ، بعد ذلك تستجيب ، نبضة لنبضة ، مع نبضات (٢) مايكرو ثانية ذات معدل قدرة (٢٠) واط تقريباً .

والمنظومة المشابهة الأخرىٰ المبنية من قبل Saab-Scania وتدعىٰ BT41 مشبهة معركة الدبابات حالياً قيد الإنتاج للجيش السويدي . وتمتاز بتشبيه الزمن الحقيقي لطيران القذيفة ، ونوع الذخيرة المستخدمة ، وتشبيه دقيق لخصائص الهدف الواهن . كما تولد المنظومة أيضاً تشبيهاً واقعياً للرصاصة المذنبة في مسددة الرامي . ويتم تجفير حزمة الليزر بواسطة التضمين حيث تستخدم لنقل المعلومات إلى الهدف للموقع النسبي بين حزمة الليزر وموقع القذيفة وبذلك

يحصل الهدف على بيانات نوع وإحداثيات القذيفة المارة وهوية وحدة الهجوم . وللهدف (١٢) كشاف مع عاكسات خلفية ، وبذلك يتيسرطريقان لمعالجة المعلومات . ويمكن حساب إحتمالية القتل المناسب من إحداثيات القذيفة وبذلك يمكن تقييم تأثير الضربة . وتمكن البرامجيات من تغيير الإحتماليات المشروطة ، مثلاً تقييم فرصة القتل عند الضربة الثانية . ويمكن استخدام BT41 للتدريب في تسديد الرمي المباشر للأهداف الأخرىٰ ، مثل المدفعية والصواريخ الموجهة .

٧ ـ التطويرات المستقبلية :

أ . المواصلات :

يقدم الليزر إمكانات كبيرة كوسيلة للمواصلات وهي الآن في حالة تكامل من نقطة إلىٰ نقطة ومنظومات مواصلات الألياف البصرية . ويوفر ضيق حزمة الليزر تهديفاً إتجاهياً عالياً وحماية جيدة ضد التداخل . ويمكن استخدامها للمواصلات السرية قصيرة المدىٰ . ومثل نظير الموجة الدقيقة يمكن نصب الليزر لإرسال الكلام أو الصور ، تغيير سعة الحزمة مع غالق أو بواسطة تجفير النبضات . والفرق الواسع بينهما هو كمية المعلومات المحمولة من قبل حزمة الليزر . ورغم أن درجة التضمين تكون أوطأ مع حزمة الليزر ، يُمكِّن التردد العالي من الحصول علىٰ عرض نطاق ترددي بمقدار (١٠٠) ميكاهيرتز لقناة الصوت أو (١٠٠) كيلو هيرتز لقناة التلفزيون والتي بحدود (١٠٠٠) مرة بقدر سعة مواصلات الموجة الدقيقة . وهناك بالطبع مساوىء ، أهمها فقدان الإنتشار الجوي .

وتُجنِّب المواصلات المغلقة معضلة الإرسال الجوي ويتم إختيارها باستخدام الألياف البصرية . وقد طورت أنواع النظارات ذات الفقدان الواطىء كما تم تشييد إمكانية لمهمات المواصلات قصيرة المدىٰ . ولها ميزتان رئيسيتان علىٰ المنظومات الكهربائية . أولاهما نقصان وزنها بحوالي وحدة واحدة على

المنظومات التقليدية يجعلها أكثر اهتماماً للعمليات غير الهامة . وثانيتهما خلوها من التداخل من المنظومات الكهربائية المجاورة ومن النبضة الكهرومغناطيسية (EMP) الآتية من الانفجار النووي . وللغاليوم أرستايد نوعيات مهمة للاستخدام في منظومات الألياف البصرية .

ب . التجسيم :

يستخدم التجسيم بالليزر في الشاشة العلوية للطائرة لتزويد الطيار برؤية ثلاثية (مجسمة) للمشهد . والفرق بين الصورة المجسمة والصورة الفوتوغرافية الإعتيادية هي أن لها ظهوراً مجسماً . ويستخدم الليزر لأخذ وتسجيل الصورة المجسمة التي يمكن رؤيتها من زوايا مختلفة من قبل الطيار .

جـ . التوجيه بالتصور الذاتي :

يستعمل الليزر حالياً في منظومات التوجيه بالتصور الذاتي . إن تَفَوُّقَ هذه المنظومات على الجيروسكوبات التقليدية أنها أصغر وأقل وزناً ، وإنتاجها أرخص ، وأكثر استقراراً وتستغرق زمناً قليلاً لتهيئة القراءة . وفي حالة التشغيل تسير حزمتان ليزريتان بنفس الطول الموجي ، في اتجاهين متعاكسين حول تجويف حلقي مربع . وفي زاوية واحدة تمر كلا الحزمتين خلال فالق الحزمة وتغذىٰ إلى الدايودات الضوئية . ويتم تحسس معدل دوران التجويف من طريق قياس الفرق في ترددات الحزمتين الناتج بواسطة إحدىٰ الحزمتين السائرة بالإضافة الى ذلك حول الحلقة من الأخرىٰ ، والفرق بين التناسب ومعدل الدوران . بعد ذلك يمكن تغذية الفرق إلى المؤازرات servos التي توجه نقطة التهديف .

وللجيروسكوب الليزري تطبيقات في توجيه الطائرة والصاروخ وأيضاً كجهاز قياس زاوي دقيق جداً في التحكم بنيران المدفعية . وتستخدم حالياً أنواع عديدة من الليزرات وأكثرها شيوعاً ليزر الهيليوم نيون ، والذي يكون داخل تجويف حلقي . كما تم تطوير منظومات الغاليوم أرسنايد والنيوديميوم YAG كونها من أنواع الألياف البصرية باستخدام مصدر ليزر خارجي .

الهوامش

(١) **التوزيع العكسي :**

هي الحالة التي تكون فيها حالة الطاقة العليا في منظومة ذرية ذات توزيع الكتروني أكثر مما في الحالة الواطئة للطاقة لنفس المنظومة . ويجب تأسيس هذه الحالة لخلق عمل الليزر .

(٢) **الهباء الجوي :**

ذُريرات صلبة أو سائلة يحملها الهواء .

(٣) **القدرة المكافئة للضوضاء :**

هي القدرة الموجودة في نقطة معينة من الدائرة الكهربائية نتيجة للضوضاء لوحدة إذا ما أزيلت الإشارة النافعة بدون تبديل ظروف التشغيل .

(٤) **Q-Switching :**

تقنية لحفظ Q لتجويف الليزر عند قيمة واطئة في الوقت الذي يتم فيه إقامة التوزيع العكسي للأيون ، بعدئذٍ يتم تشغيل الـ Q فجأة إلى قيمة عالية تماماً قبل ظهور عدم الاستقرارية . وتعطي هذه التقنية معدل عالي للإبتعاثية المُحفَّزة . ويمكن إنجاز عملية Switching عن طريق خلايا كبيرة ، مواشير الإنعكاس الدوَّارة ، أو رقاقات معدنية خفيفة من الذهب توضع بين بلورة الليزر ونهاية صفيحة ذات انعكاسية عالية .

«الفصل السادس»

الرادار

١ ـ مقدمة :

لقد تمت الإشارة إلى المبادىء الأولية للرادار في الفصل الأول . ولتلخيص تلك المبادىء ، فإن الرادار يقيس :

أ . المدىٰ:

بتوقيت مرور الأمواج الكهرومغناطيسية إلىٰ ومن الهدف . ولعمل هذا من الضروري إرسال موجات ذات نبضات قصيرة .

ب . الاتجاه :

بواسطة تشكيل الأمواج في حزمة ضيقة بواسطة هوائي ملائم ، بحيث يعطي اتجاه الهوائي اتجاه الهدف .

جـ . السرعة :

النسبية أو حركة الهدف ـ بواسطة ظاهرة دوبلر .

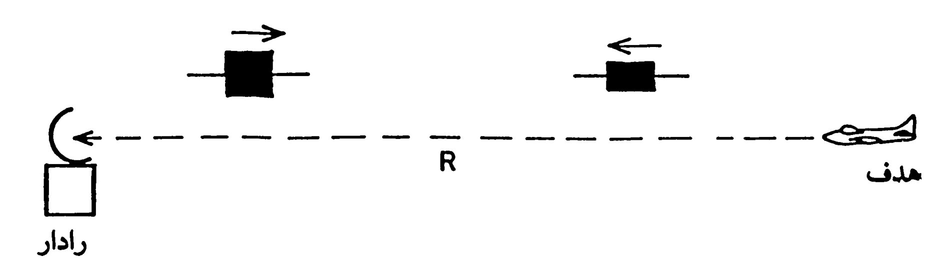
وتتضمن وظائف الرادار في المراقبة وتحصيل الهدف كشف واستمكان الطائرة ، للأهداف المتحركة في ساحة المعركة والسفن والمقذوفات ، مثل الصواريخ والقنابل . ومن بين التطبيقات السلمية السيطرة علىٰ الطائرة ، وكشف العواصف المطرية ، ومساعدات الملاحة البحرية وانذارات الإختراق . ويمكن أن تكون الرادارات ثابتة ، كما يمكن تركيبها على العجلات والسفن أو الطائرة ،

ويمكن كذلك حملها من قبل الأشخاص أي حملها يدوياً . وهي تتراوح في حجمها من المنشآت الدائمية الضخمة للمراقبة الجوية بعيدة المدىٰ إلى حَجم الجيب لبيان الحركة على مسافة بضعة أمتار .

وقد نص الفصل الأول أن الرادار يعطي المدىٰ : ويمكنه النفاذ خلال الغبار ، والضباب الخ . كما ويمكن استخدامه ليلاً . من ناحية أخرىٰ غالباً ما يكون الرادار ضخماً . مع هوائي بارز ؛ وهو فعال ، ولكنه مكشوف للإجراءات المضادة ، كما أن قدرة التفريق الزاوي وقدرته على تمييز الأهداف تكون ضعيفة .

٢ ـ قياس المدى :

ربما تكون أحسن ميزة معروفة للرادار هي قابليته لقياس المدىٰ بدقة . وتاريخياً فإن أقدم طريقة لقياس المدى هي بإرسال نبضة بأمواج ترددية لاسلكية ، وقياس زمن عودة الإشارة من الهدف ؛ ولازالت هذه الطريقة مستخدمة . ويوضح الشكل (٦ ـ ١) هذه المبادىء .



شكل (٦ ـ ١) قياس المدىٰ بالنبضة

ويتم تعيين (R) بواسطة $T = 2R/C$.

حيث T = الزمن المستغرق بين إرسال النبضة واستلام إشارة الهدف المنعكسة .

C = سرعة انتشار الأمواج اللاسلكية = ٣ × ١٠^٨ م / ثانية .

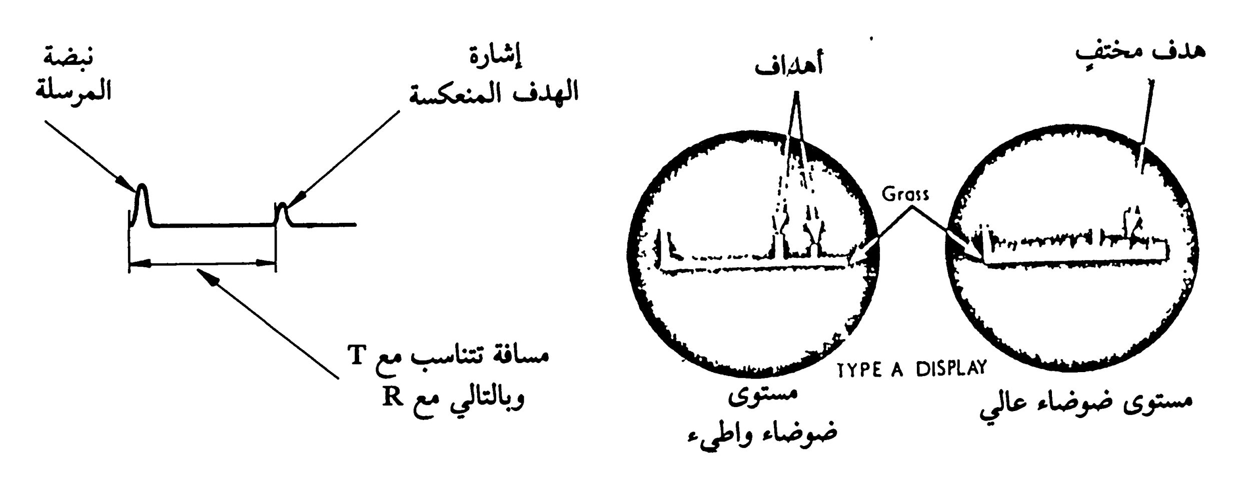
والزمن (T) قصير جداً كما يوضحه المثال التالي :

R = ١٥ كم

T = ٢ × ١,٥ × ١٠^٤ ÷ ٣ × ١٠^٨.

= ١٠^-٤ ثابتة . أو (١٠٠) مايكروثابتة .

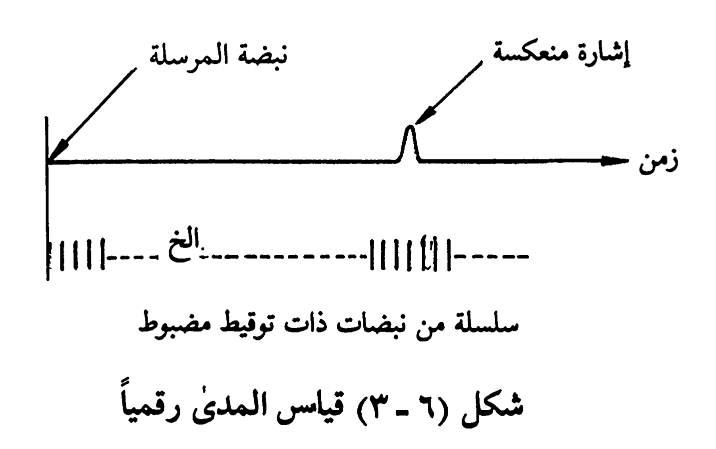
ولمثل هذه الفترات الزمنيـة القصيرة من الضـروري استعمال التـوقيت الإلكتروني . وكانت الرادارات القديمـة تستعمل الـطريقة الكميـة مع مـرسمة الأشعة الكاثودية CRO الشكل (٦ ـ ٢ أ) .



شكل (٦ ـ ٢) قياس المدىٰ بطريقة **CRO**

وعلى افتراض أن القاعدة الزمنية للـ CRO خطيـة فإن مسـافة الإشـارة المنعكسة من بداية مبين القاعدة الزمنيـة على واجهة الصمـام ، تتناسب مـع المـدىٰ (R) . والشكل (٦ ـ ٢ ب) يـوضح مبينـاً نمـوذجيـاً . وفي المعـدات الحديثة فإن التوجه منصب علىٰ استخدام الطرق الرقمية لقياس الزمن كما في الساعات اليدوية والكبيرة التي تستخدم بلورة الكوارتز الشكل (٦ ـ ٣) .

إن حساب عدد نبضات التوقيت من لحظة الإرسال إلى حين عودة الإشارة المنعكسة يعطي الزمن المنقضي بدرجة عالية من الدقة (جزء واحد في ١٠^٦) .. وعادة لا يرسل الرادار نبضة واحدة فقط بل سلسلة من النبضات وبتردد تكرار

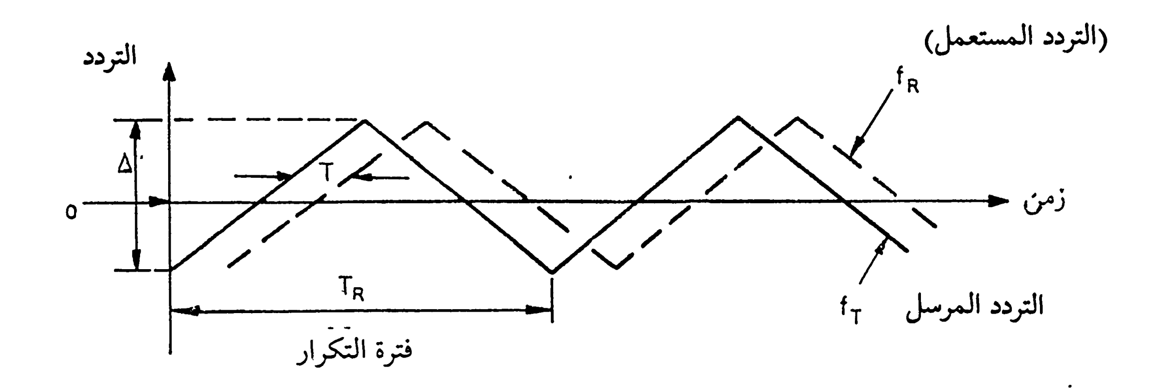


شكل (٦ ـ ٣) قياس المدىٰ رقمياً

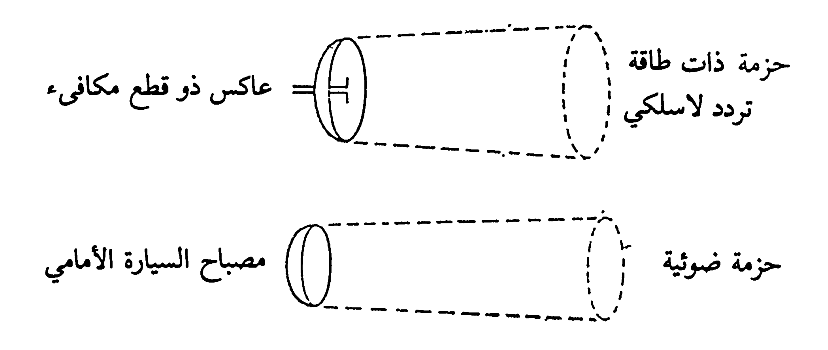
نبضي عالي جداً (prf) (١) كيلوهيرتز أو أكثر . والمعدل العالي للـ (prf) يكون ضرورياً لتجنب التلألأ الحاصل في مبين CRO وللتأكـد من وجود الهـدف ؛ ويستخدم الرادار أعلىٰ (prf) عملي . وأدنىٰ زمن بين النبضـات المرسلة هـو الزمن اللازم لرجوع الإشارة . من الهدف في مداة الأقصىٰ ، وهذا يثبِّت الحد الأعلىٰ للـ (prf) . وعلى سبيل المثال إذا كان المدىٰ العمليـاتي الأقصىٰ هو (٧٥) كم ، فـإن الـزمن المنقضي هــو (٠,٥) ملي ثــانيــة ، والـ prf ⩾ ٢ كيلو هيرتز . وعملياً من الضروري السماح لبعض زمن العطالة بحيث يهمل الرادار إشارة الهدف المنعكسة الآتية من الأهداف الكبيرة غير الاعتيادية الواقعة خارج المدىٰ العملياتي ؛ في هذا المثال فإن (prf) بمقدار (١,٥) كليوهيرتز قد يكون اختياراً مناسباً ، بافتراض زمن عُطالة (١٦٧) مايكرو ثابتة .

ولمنظومات قياس المدىٰ ، الرادارية قابلية القياس بدقة عالية تصل إلى جزء من مليون ؛ وبالاستفادة من هذه الميزة فإن أمد النبضـة يجب أن يكون قصيراً . فإذا كان للنبضة أمد ($\hat{\iota}$) ثانية فإن الفرق في الزمن المنقضي بين بداية ونهاية الإشارة المنعكسة من نقطة الهدف هو أيضاً ($\hat{\iota}$) من النواتي ، من هنا فإن الإشارة المنعكسة تنتشر على مدىٰ فاصل زمني $C\,\hat{\iota}/2$ من الأمتار . هذا الانتشار يعرَّف بقدرة تفريق المدىٰ (R) حيث تقارن مع دقة التوقيت في الرادار . وتبلغ القيمة النموذجية لمديات النبضة من (٠ ~ ١) إلىٰ (٢) مايكروثانية الذي يماثل (R) من (١٥) متر إلى (٣٠٠) متر .

والنبض palsing ليس الشكل الوحيد لتضمين الموجة المرسلة ؛ وفي الحقيقة فإن أي شكل من أشكال التضمين يمكنه عمل ذلك ، وبذلك فإن الاعتبارات العملية تحدد عدد الأنواع في الاستخدام . والبديل الشائع للنبضة هو إرسال الموجة المستمرة المضمَّنة بالتردد الخطي FMCW (انظر الشكل ٦ - ٤) .



شكل (٦ - ٤) قياس مدىً FMCW



شكل (٦ - ٥) إيجاد الاتجاه بالخدمة الضيقة

إن الفرق الآني للتردد بين الاشارة المرسلة والمستلمة يعطي الزمن المنقضي (T) ، وبالتالي (R) . وقدرة التفريق الزمني هي $1/\Delta f$ ، حيث (Δf) هي انحراف التردد الكلي للإشارة المرسلة ، أي أن (Δf) بمقدار (١٠) ميكاهيرتز تعطي

نفس قدرة تفريق المدىٰ والزمن كما تعطي نبضة بمقدار (١ , ٠) مايكروثانية في منظومة نبضية . إن ميزة (FMCW) هو أن المرسلة تعمل على مستوىٰ قدرة ثابت ، وبحالة تشغيل أكثر إيجابية من توليد نفس معدل القدرة ولكن في سلسلة من نبضات قصيرة وعالية القدرة . والمساوىء يمكن أن تربك قياس المدىٰ مع إزاحة دوبلر إذا كان الهدف متحركاً ، وكذلك صعوبات استخدام هوائي واحد لكل من الإرسال والاستلام .

٣ ـ إيجاد الاتجاه :

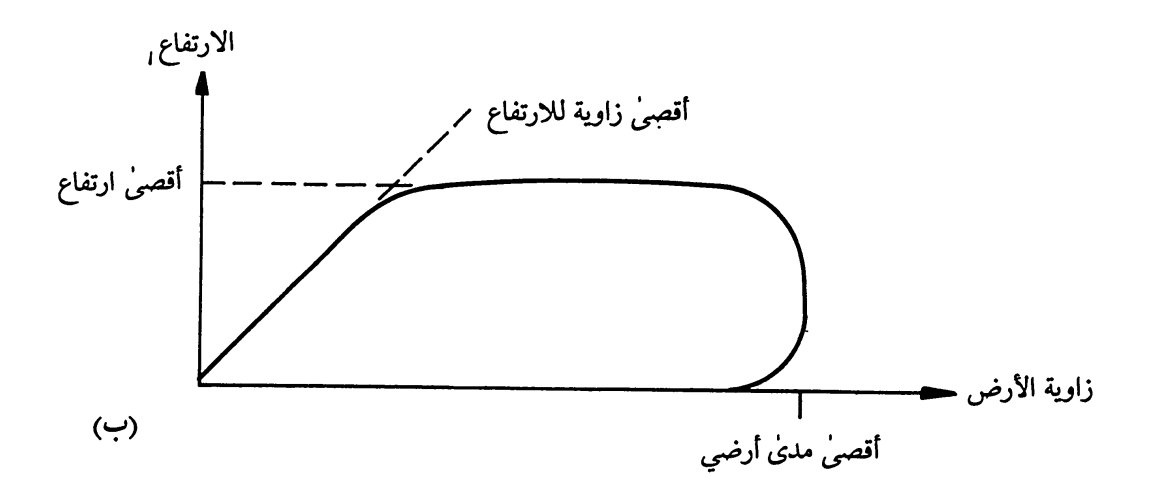
يركز الهوائي قدرة الرادار في حزمة ضيقة جداً ، غالباً ما يكون عرضها بضعة mils ؛ ويتم استلام الإشارة المنعكسة من الأهداف الواقعة ضمن الحزمة فقط ، وهكذا يمكن معرفة اتجاه مصدر الإشارة المنعكسة بدرجة عالية من الدقة .

من ناحية ثانية ، وللحصول علىٰ عرض ضيق للحزمة ، يجب أن يكون عرض أو قطر الهوائي D كبيراً مقارنة مع الطول الموجي . وقاعدة الأبهام تفيد أن عرض الحزمة مقاسة بوحدات «mils» تكون بين ١٠٠٠ و ١٥٠٠ مضروباً في λ/D . فمثلاً بالنسبة لعرض حزمة يساوي ١٠ مِل (mil) ، فإن عرض «D» يجب أن يكون على الأقل (١٠٠ λ) . ويتبع ذلك أن (λ) يجب أن تكون قصيرة ليكون الهوائي عملي ؛ فعندما لا تزيد «D» عن (٣) متر فإن (λ) يجب أن لا تكون أطول من (٣٠) ملم ، نسبة إلى التردد (١٠) كيكاهيرتز . وفي الأيام الأولىٰ للرادار كان من غير الممكن توليد قدرات نافعة عند مثل هذه الترددات العالية ، في حين كانت تستخدم ترددات أوطأ بكثير بحيث أصبحت الدقة الزاوية ضعيفة . ولم يكن ممكناً وجود رادار حديث بالغ الدقة في إيجاد الزاوية إلا بعد اختراع مصادر الأمواج الدقيقة عالية القدرة ، والماكنترون في عام ١٩٤٠ . وتتركز ترددات معدات الرادار الحديث في الأنطقة الدقيقة والملمترية (أي الأطوال الموجية المقاسة بالسم والملم) كما مبين في الملحق (أ) . ولاحظ منظومات التصنيف حسب الأحرف بالإضافة إلى التردد أو الطول

الارتفاع

المدى (ميل بحري)

(أ)



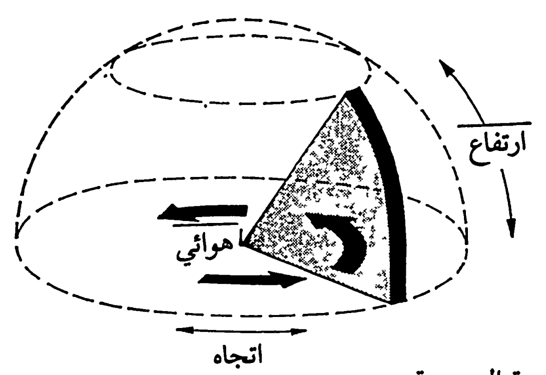
(ب)

شكل (٦ ـ ٧) مخطط التغطية للارتفاع للدفاع الجوي

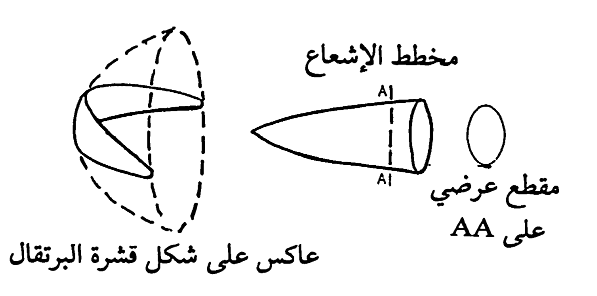
الموجي ، ومثال ذلك خطة تصنيف الناتو ، حيث يقع التردد (١٠) كيكاهيرتز في النطاق «I» .

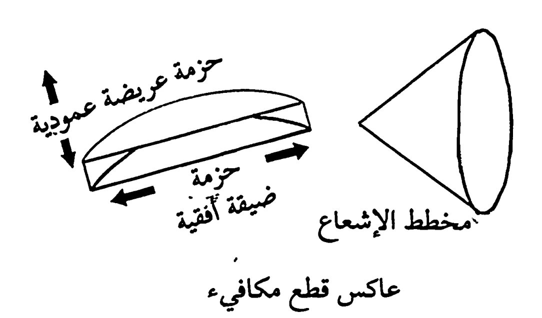
٤ ـ رادار المراقبة النموذجي :

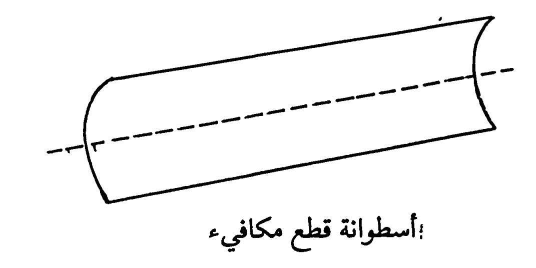
وكمثال على تقنيات كشف واستمكان الهدف ، تأمل راداراً نبضياً بسيطاً للدفاع الجوي في جميع الجهات . حيث يعطي الرادار الموقع بالمدىٰ والزاوية فقط ، ولكن ليغطي كل الأهداف إلى حدود ارتفاع مفترض . والهوائي عريض لفرض الحصول علىٰ حزمة ضيقة في الاتجاه ؛ ويدور بمعدل ثابت للمراقبة في جميع الجهات . وتكون الحزمة عريضة في الارتباع لتعطي تغطية للارتفاع (حزمة مروحية) . ويبين الشكل (٦ ـ ٦) الفكرة ، مع أشكال الهوائي المختلفة .



استخدام الحزمة المروحية







شكل (٦ ـ ٦) إنتاج الحزمة المروحية

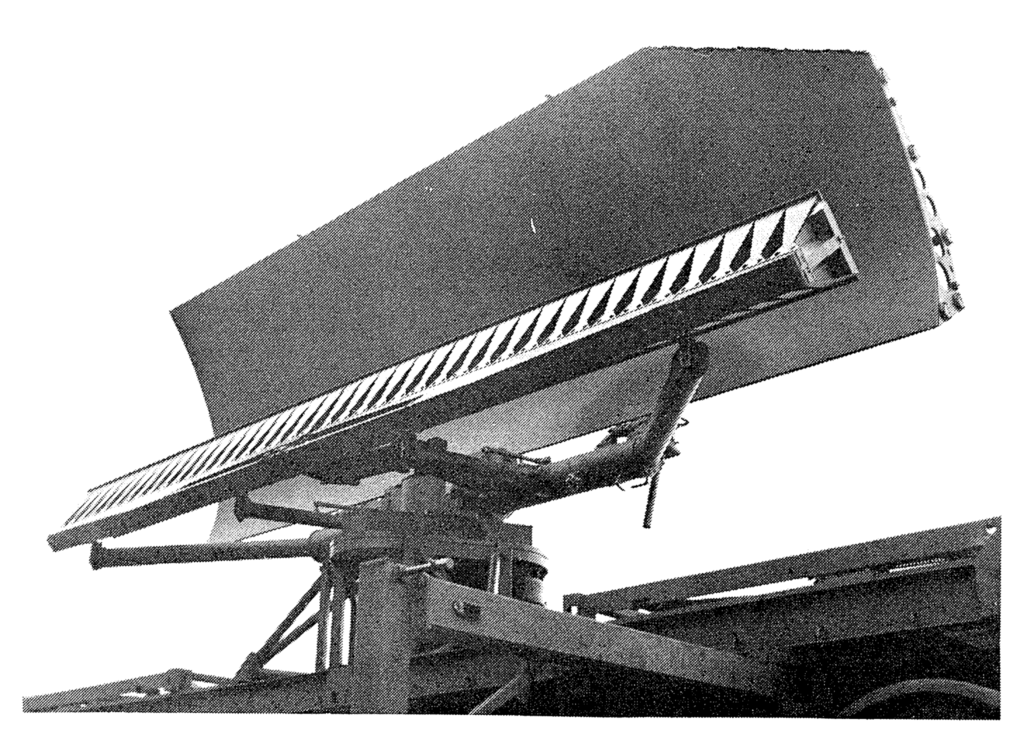
ويدور الهوائي عدة دورات في الدقيقة ؛ ويجب أن تكون سرعة الدوران عالية بشكل كافٍ لضمان كشف الأهداف بصورة مبكرة بما فيه الكفاية وبالتالي الحصول على أحدث المعلومات المتوفرة . وعلى سبيل المثال إذا كان معدل

الدوران (٦) دورات في الدقيقة فإن طائرة تسير بسرعة ٦٦٠ م/ ثانية سوف تخترق (٦,٦) كم داخل حجم المراقبة قبل أن يكشفها الرادار . من ناحية أخرى كلما كان معدل المسح أعلى كلما ازدادت مقاومة الهواء وبالتالي تزداد القدرة اللازمة لتدوير الهوائي .

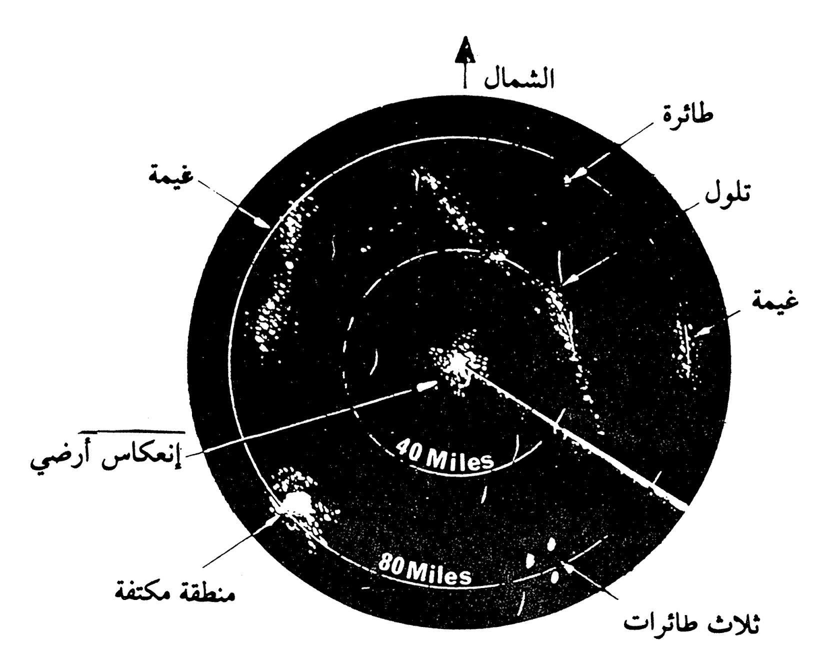
وعلى الرغم أن الحزمة المروحية البسيطة في الارتفاع وذات عرض مناسب يمكنها أن تعطي التغطية المطلوبة في الارتفاع ، فإنها تعتبر قدرة إرسال خاسرة . والتغطية العمودية للدفاع الجوي تكون عادة بالشكل الموضح في الرسم (٦ ـ ٧ أ) حيث يخصص أقصى مدى بدرجات ارتفاع واطئة ، وأقصى تغطية للارتفاع إلى حد زاوية ارتفاع محددة . ومن الشكل (٦ ـ ٧ ب) فإن الهوائي يولد حزمة مروحية تغطي E_1 بأقصى إشعاع .

وفي المنطقة العليا ، E_2-E_1 ، كلما كان الارتفاع أعلى كلما قل المدى ، وبالتالي فإن الهوائي يغطي هذه المنطقة مع قدرة مُشعة تتناقص تدريجياً مع زاوية الارتفاع والتي تقطع بشكل حاد عند E_2 . ولتحقيق هذا ، فإن العاكس ، الذي يكون على شكل قطع مكافىء ، ينحني بشكل حاد أكثر عند القعر ليحرف القدرة المشعة إلى المنطقة العليا طبقاً لحاجة التخطيط إلى التغطية الرادارية . ويبين الشكل (٦ ـ ٨) هوائي من هذا النوع الذي يعرف مع شكل الحزمة المتلازمة بمربع قاطع التمام[1] بسبب شكله الهندسي .

ومبين المشغل (ب) هو من نوع CRO يسمى مبين مواقع إسقاطي راداري PPIوتمتد مدى قاعدة الزمن من مركز واجهة الصمام إلى الحافة بحيث تمثل المسافة نصف القطرية للإشارة المنعكسة ، المدى . وتدور قاعدة الزمن بالتزامن مع الهوائي . يعطي اتجاه الإشارة المنعكسة من مركز واجهة الصمام ، اتجاه الهدف . وتظهر الإشارات المنعكسة للهدف كنصوع للقاعدة الزمنية ؛ ولشبكة الصمام مداومة طويلة بحيث تبقى النقطة المضيئة لإشارة الهدف المنعكسة على الشاشة ، وتستمر على الأقل لدورة واحدة كاملة للهوائي . ويمكن للمشغل قراءة المدى من منزلقة مرتكزة على واجهة الصمام ، والإتجاه

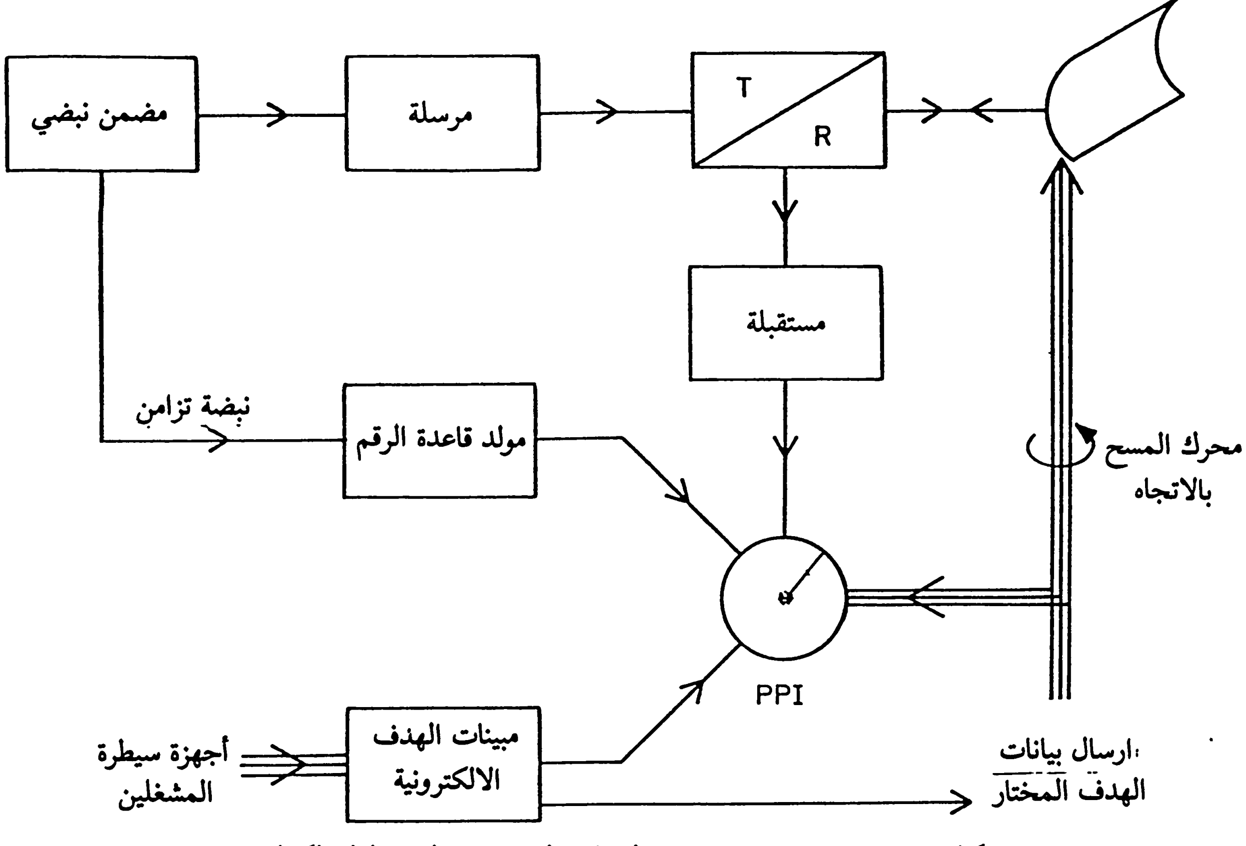


شكل (٦ ـ ٨) هوائي قاطع تمام تربيع



شكل (٦ ـ ٩) مبين PPI

من مقياس مجال البصر. وعادة يسيطر المشغل علىٰ العلامات الالكترونية التي يضعها على الإشارة المنعكسة للهدف ، ولعمل ذلك فإنه يولد إشارات كهربائية يمكن أن تدل علىٰ بيانات الهدف . ويبين الشكل (٦ ـ ١٠) المخطط الكتلوي للرادار .

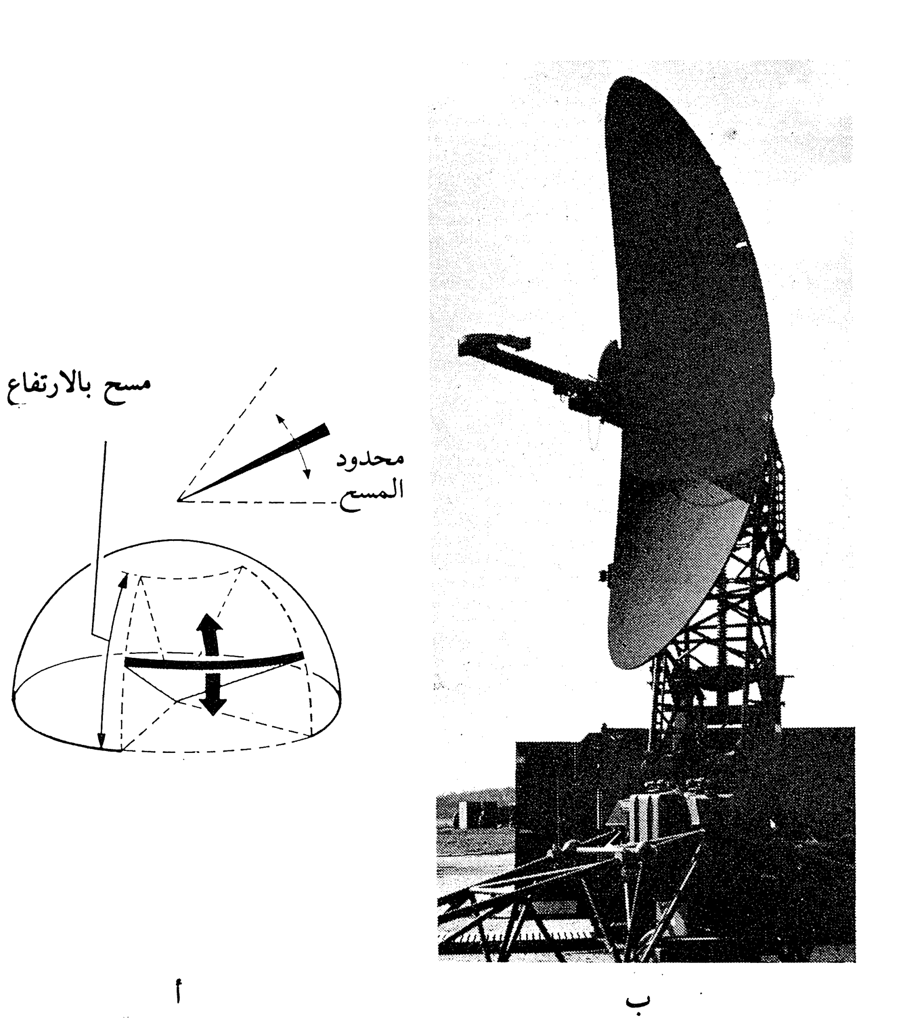


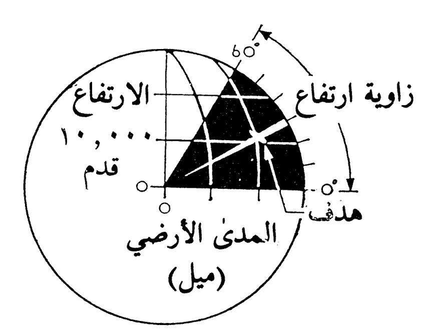
شكل (٦ ـ ١٠) رادار مراقبة الدفاع الجوي ـ المخطط الكتلوي

لاحظْ النبضة التزامنية من المضمن النبضي إلى مولد القاعدة ـ الزمنية لبدء التوقيت . ولاحظ أيضاً مفتاح الإرسال/ الإستلام (T/R) بحيث يؤدي هوائي واحد كلا الغرضين . والمفتاح في الحالة الإعتيادية يربط الهوائي بالمستقبلة ؛ وتؤدي بداية نبضة الإرسال حالاً بفصل المستقبلة وربط المرسلة إلىٰ الهوائي ؛ وعند نهاية نبضة المرسلة فإن المفتاح يُحرر طوعياً لإعادة ربط المستقبلة .

وتعطي الحزمة المروحية أو حزمة مربع قاطع التمام تغطية ارتفاعية ولكن ليس هناك قياس لزاوية ارتفاع الهدف. وللحصول على ذلك فمن الضروري إما

استخدام رادار منفصل لإيجاد الإرتفاع أو بإدخال قياس الإرتفاع في منظومة الهوائي لرادار المراقبة . وللرادار المنفصل لإيجاد الارتفاع حزمة هوائي ضيقة في الارتفاع ، وواسعة في الاتجاه ، وحزمة « ذيل القندس » [شكل ٦ - ١١أ] . ويبين رادار المراقبة زاوية الهدف ؛ أما موجد الارتفاع في الشكل (٦ - ١١ ب) فإنه يستدير إلىٰ هذه الزاوية حيث تقوم عقد الهوائي بمسح مقطع محدد في الارتفاع . وتظهر الإشارات المنعكسة للهدف علىٰ مبين الارتفاع والمدىٰ (RHI) [شكل ٦ - ١١جـ] وهو مشابه للـ PPI ولكنه يغطي قطاعاً



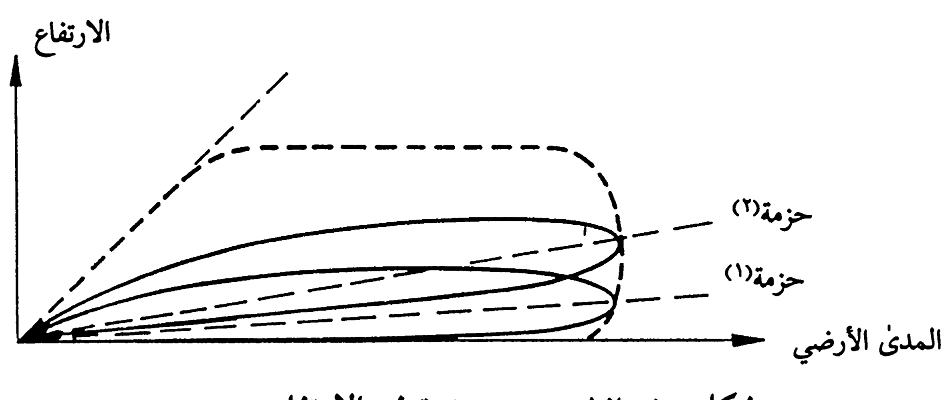


أ ب جـ

شكل (٦ - ١١) رادار إيجاد الارتفاع

واحداً فقط . ويستطيع المشغل تعريف الهدف بواسطة مداه وقراءة الارتفاع وزاوية الارتفاع .

وفي رادار المراقبة المتضمن إيجاد الارتفاع فإن تغطية زاوية الارتفاع تنغلق إلىٰ عدد من القطاعات الضيقة (شكل ٦ ـ ١٢) . فإما أن يغذي الهوائي



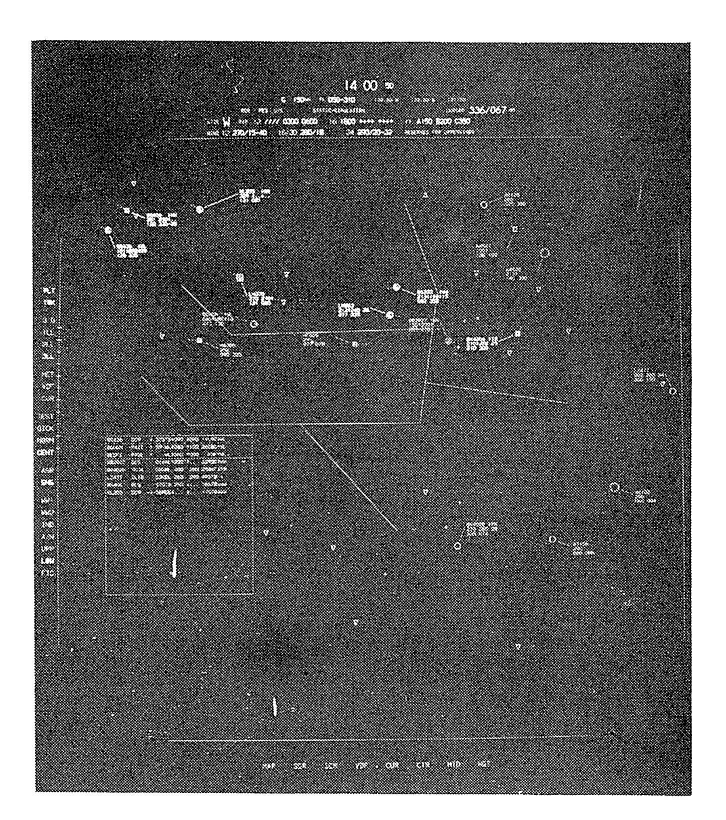
شكل (٦ ـ ١٢) حزم متعددة في الارتفاع

المتعدد الحزم المتعددة الضرورية ، أو حزمة خاصة تشكل مصفوفة تولد الحزم المتعددة الضرورية . وهذا يؤدي إلى رادار معقد جداً لأن كل حزمة تتطلب مستقبلاً خاصاً بها . ومن الممكن أن يكون هناك مبينات متعددة ولكن عادة تمرر بيانات الهدف إلى الحاسبة لخزنها وتقييمها .

وفي بعض الأحيان تظهر الأهداف المختارة على لوحة مبين PPI من خزين الحاسبة ويتم تأشير الارتفاع بأرقام جنباً إلىٰ جنب مع الإشارة المنعكسة للهدف (شكل ٦ ـ ١٣) . وبسبب أنها تقيس كل الإحداثيات الثلاث فإن هذا النوع من الرادارات يدعى ثلاثي الأبعاد 3-D .

٥ ـ رادارات المعركة والمراقبة :

إن رادارات مراقبة ساحة المعركة ، ورادارات كشف القذائف وبعض أنواع رادارات المراقبة الجوية ، تغطي فقط مقطعاً محدداً في الاتجاه . ولرادارات مراقبة ساحة المعركة والأنواع الأخرىٰ من رادارات المراقبة الأرضية الصغيرة ، هوائي صغير جداً بإمكان المشغل تدويره يدوياً ؛ وفي الواقع ، فإن الرادار قد يكون صغيراً إلى حد أن عملية « المسح » الراداري تتم بتدوير كل الرادار . وغالباً ما يكون الهوائي مرآة قطع مكافيء بسيط ، ولكن التقنية الحديثة أخذت تستخدم مصفوفة خفيفة الوزن على لوح بلاستيكي مستطيل رقيق كما



شكل (٦ - ١٣)
مبين PPIتحليلي



شكل (٦ - ١٤) مصفوفة هوائي خفيفة الوزن لرادارات صغيرة الحجم

مبيَّنٌ في الشكل (٦ ـ ١٤) . وعادة يكون تحديـد المدىٰ في هـذه الرادارات رقميـاً

وبما أن الاهتمام مُنْصَبٌ علىٰ الأهداف المتحركـة فإن هـذه الرادارات تستخدم ظاهرة دوبلر لإقصاء الاشارات المنعكسة من الأجسام الثابتة الآتية من الأرض وتخمين سرعة الهدف موضوع البحث .

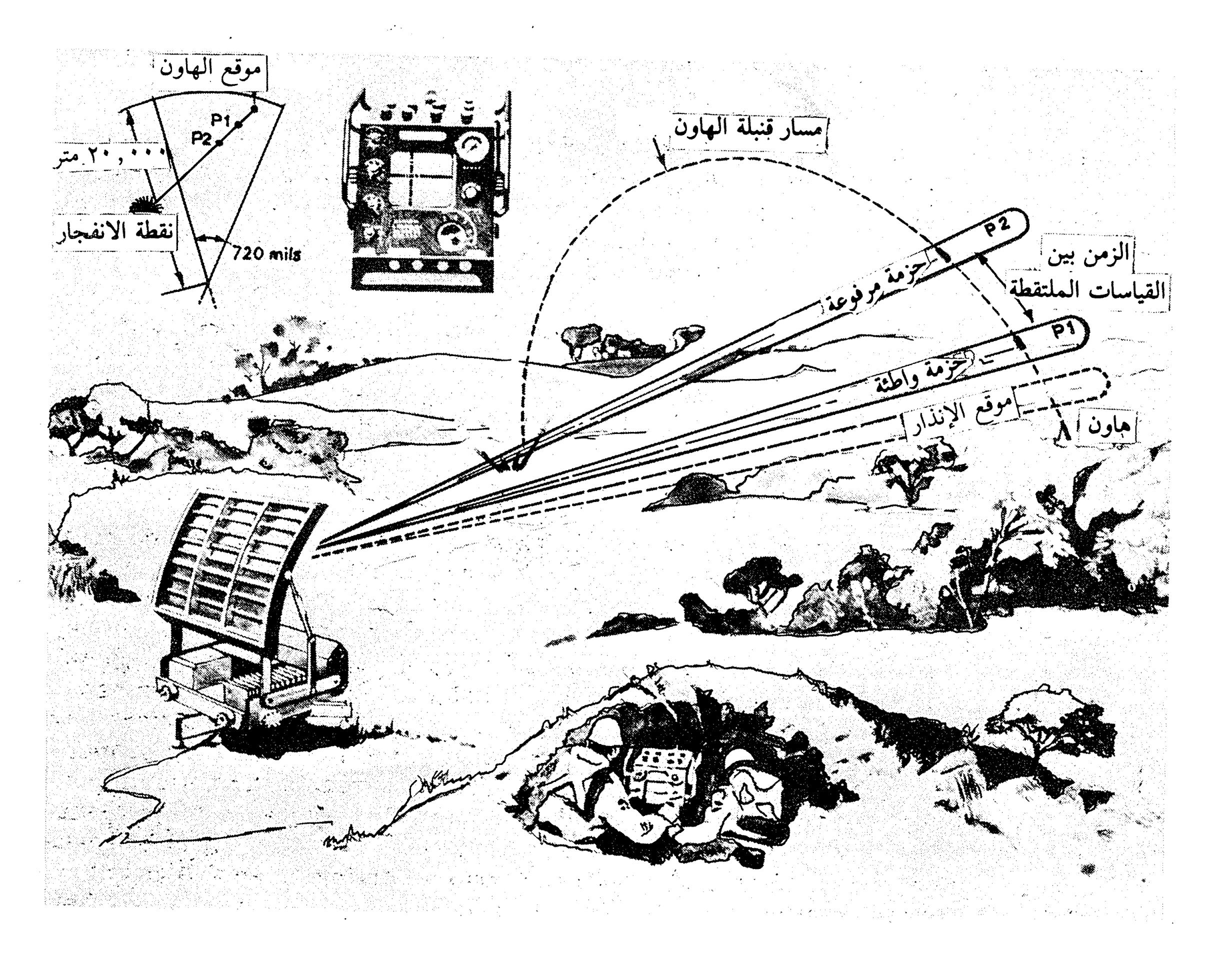
ورادارات كشف القذائف لاستمكان موقع الهاونات والمدفعية تقوم بمسح القطاع بسرعة كبيرة ولعدة مرات في الثانية الواحدة ، لضمان إلتقاط أي قذيفة في القطاع مرة واحدة على الأقل في الوقت الذي لا تزال فيه القذيفة في حالة إنحناء للأسفل أثناء مسارها . ومن غيـر الوارد تحـريك كـل الهوائي لغـرض الحصول علىٰ مسح سريع ، وبدلاً من ذلك فإن الرادارات يكون لها عـاكس رئيسي ثابت في الوقت الذي تكون فيه الحركة السريعة لبعض أجزاء منظومة التغذية الداخلية كما في جهاز مسح « فوستر » ، تجعل الحـزمة تقـوم بعملية المسح . ويبين الشكل (٦ ـ ١٥) مخطط هذا المبدأ .

وتظهر القذائف على شكل إشارات منعكسة ساطعة على مبين CRO لإيجـاد الاتجاه والمدىٰ ، بينما تعطي زاوية الارتفاع الثابت المعروف للحزمة ، زاوية ارتفاع القذيفة . ورادارات استمكان الأسلحة الحديثة ، خاصة تلك المستخدمة لاستمكان المدفعية ، تستخدم المسح الألكتروني بالقصور الذاتي ، الذي سيتم وصفه لاحقاً في هذا الفصل ، بالاشتمال مع عمليات المعالجة الطوعية للبيانات والكشف الطوعي للهدف .

٦ ـ أداء المنظومة :

إن واحدة من الأجزاء المهمة لمواصفات الرادار ، قابليته لكشف الهدف على مدىٰ مناسب ، ويبحث هذا المقطع العوامل التي تحكم هذه القابلية .

وأول هذه العوامل هي قابلية الهوائي على تركيز القدرة بحزمة ضيقة ، واستلام الإشارات التي تقع ضمن نفس عرض الحزمة الضيقة . وتعرف قابلية التركيز هذه بـ « كسب القدرة ، G. نفترض أن هوائياً يركز قدرته المشعة في زاوية مجسمة (Ω) من الزوايا النصف قطرية المجسَّمة ، بدلاً من الاشعاع بشكل



شكل (٦ ـ ١٥) رادار استمكان الهاون

منتظم في جميع الاتجاهات ، أي علىٰ (4π) من الزوايا نصف قطرية المجسمة ، إن التركيز ، أو G ، هو $\frac{4\pi}{\Omega}$ ؛ وفي هوائيات الرادار يمكن أن تكون قيمة (G) عدة آلاف . وتطبق قابلية التركيز للهوائي أيضاً على خواص الاستلام ؛ فهي تستخلص القدرة من جبهة الموجة الساقطة على مساحة (A) ، ومساحة الفتحة الفعالة ، والتي تنتسب إلىٰ (G) بالعلاقة $A = G\lambda^2/4\pi$ وفي الهوائيات شبه البصرية ، مثل القطع المكافىء ، وفي المصفوفات السطحية الكبيرة ، فإن (A) تساوي تقريباً المساحة الطبيعية لفتحة الهوائي . فعلىٰ سبيل المثال هوائي مكافىء دوراني بقطر (١) متر له (A) بقيمة ٦٠٪ من $\pi/4$ م٢ ، وكسب حوالي (٧٠٠٠) عند طول موجي λ = ٣٠ ملم .

وعلى خلاف الإشعاع الكهرومغناطيسي الطبيعي مثل الضوء ، فإن الأمواج اللاسلكية تستقطب بشكل معتاد في مستوىً أحادي . ويعرف مستوىً الاستقطاب بأنه المستوىً الذي يحتوي على متجه المجال الكهربائي . وتوجيه تغذية إرسال الهوائي يحدد مستوىً الإستقطاب وعلى هوائي الاستقبال تقبل نفس مستوىً الاستقطاب هذا .

إن قابلية الردار على كشف الهدف تعتمد علىٰ طبيعة الهدف . والخواص المناسبة هي الحجم ، ومادة الهدف (المعدن يعكس أفضل من المواد غير الموصلة) ، وهيئته : والسطح المستوي أفضل من ناحية الانعكاسات الرادارية من السطح المائل . أما السطوح المدورة والنقط فهي تعكس بشكل ضعيف . وتعتمد قوة إشارة الهدف المنعكسة على (λ) وعلىٰ مستوىً الاستقطاب . وتتألف الأهداف العملية من عدة سطوح عاكسة بعضها سائد ، مثل الجوانب المسطحة للدبابة ، وأجنحة الطائرة وزعانف القذيفة ، ومحصلة هذه الإشارات تعطي الإشارة المنعكسة للهدف . ولأن الإنعكاسات المنفردة تعتمد على هيئة الهدف فإن الإشارة المنعكسة الصافية تعتمد أيضاً على هيئة الهدف ، كما مبين في المخطط القطبي للهدف في الملحق ب ؛ من هنا فمن الضروري تحديد هيئة الهدف عند تعريف خواص الإشارة المنعكسة للهدف . ويجب ملاحظة أن التبدلات السريعة لقوة الإشارة المنعكسة ولهيئة الهدف تؤديان إلى خفوت إشارة الهدف . وللحصول على تعريف لخواص الإشارة المنعكسة ، نفترض كرة معدنية نصف قطرها (a) ؛ هذه الكرة التي تلتقط القدرة من منطقة الموجة الساقطة تساوي المساحة المُسْقَطة للكرة ، (πa^2) ؛ وبإهمال أي فقدان في الفلز ، فإن كل القدرة الملتقطة يعاد إشعاعها ، ولأن الكرة متجانسة ، فإنها تشع في جميع الجهات كهوائي بقدرة كسب = ١ . ولكن أكثر الأهداف العملية لا تكون متماثلة ولا تشع في جميع الجهات ؛ ومع ذلك يمكن دراسة الإشعاع المحسوب أو المرصود باتجاه هوائي الاستقبال للرادار الآتي من كرة معدنية مكافئة ؛ حيث تعرف مساحتها المسقطة بمساحة المقطع العرضي للرادار (σ) الخاص بالهدف . وإنَّ قيمة (σ) لكرة الأنواء الجوية ذات قطر (١) قدم ، هي

(٢٨ , ٠ م٢) ؛ والقيم النموذجية لـ (σ) لأهداف أكثر تعقيداً يبينها الجدول التالي :

جدول (١) القيم النموذجية لـ σ

التسلل	الهدف	(م٢)
١	سفينة	١٠٠٠ (آلاف)
٢	منظر مسطح لطائرة كبيرة	٥٠٠
٣	منظر مسطح لصاروخ كبير	١٠٠
٤	منظر مائل لطائرة كبيرة	١٠
٥	منظر مائل لطائرة صغيرة	٢ ـ ٥
٦	دبابة	١ ـ ١٠
٧	صاروخ	٠,٠٣
٨	قنبلة	٠,٠٠٥
٩	قذيفة	٠,٠٠٠٥

إن القدرة الساقطة على الهدف من المرسلة تتناسب عكسياً مع مربع المدىٰ ، أي مع (R^{-2}) ؛ وبصورة مشابهة فإن هوائي الإرسال والاستقبال يكونان في موقع واحد وكذلك فإن القدرة المنعكسة عن الهدف تتناسب أيضاً مع (R^{-2}) ؛ وبالتالي فإن قدرة أو قوة الإشارة المستلمة تتناسب مع (R^{-4}) . أما إذا كانت كل من المرسلة والمستقبلة في أماكن مختلف فإن القدرة المستلمة تتناسب مع ($R_1^{-} \times R_2^{-2}$) حيث R_1 و R_2 المديات المعنية .

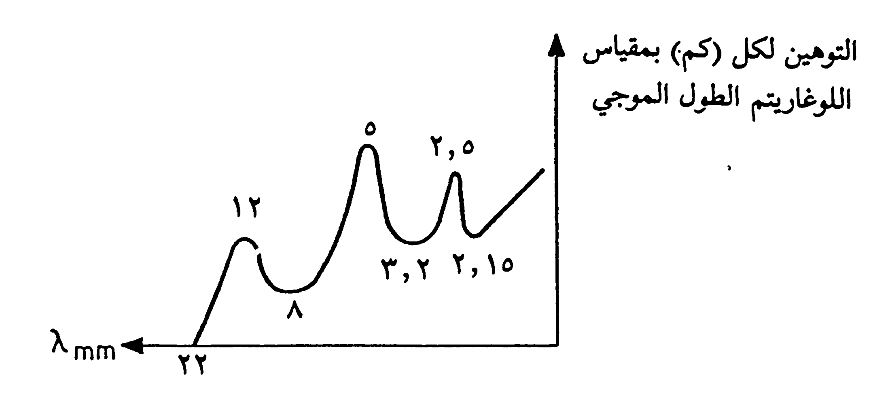
ويتم رصد قدرة الإشارة المستلمة «S» إتجاه الضوضاء الخلفية التي لا يمكن تجنبها . وحتىٰ إذا كانت المستقبلة خالية تماماً من الضوضاء ، فإن أدنىٰ قدرة تشويشية ستساوي ($Kt_O B$) ، حيث K = ثابت بولتزمان ، T_O =درجة الحرارة المحيطة مقاسة بالگلفن وB = عرض النطاق الترددي للمستقبلة .

وعندما تكون T_O = ٢٩٠ كلفن فإن Kt_O = ٤ × ١٠^-٢١^ واط / هيرتز . من ناحية ثانية فإن المستقبلات العملية تطبق حصتها النسبية من الضوضاء ، مما يسبب انحلالاً في نسبة الإشارة إلى الضوضاء بعامل يدعىٰ معامل الضوضاء (الضجيج) ، F ، حيث تتراوح قيمة (F) من ١٠ ~ ٣٠ ، ورغم ذلك فإن القيم الواطئة تكون ممكنة في أجهزة الاستقبال الخاصة .

كيف يدخل عرض النطاق الترددي للمستقبلة في الاعتبار ؟ إن لنبضة التردد الرادارية طيفاًعريضاً من الترددات ويجب أن يكون عرض النطاق واسعاً بما فيه الكفاية ليَسع لهذه الترددات ؛ من جانب آخر فإن عرض النطاق الترددي يجب أن لا يكون واسعاً جداً بحيث يسمح بمرور ضوضاء كثير جداً ، ومن الناحية العملية فإن عرض النطاق الذي يجعل S/N في حالتها القصوىٰ (نسبة الإشارة إلى الضوضاء) لنبضة عرضها (î) ، يجب أن تكون قيمته (1/î) هيرتز تقريبا .

والعامل الآخر الذي يحدد (S/N) هو الزمن (t_o) الذي يكون فيه الهدف تحت الرصد من قبل الرادار . ومن الناحية المثالية تتناسب (S/N) مع (tO) ؛ وعملياً فإن هذه النسبة تقع بين (t_o) و ($t_O^{\frac{1}{2}}$) . ويمكن حساب هذا من طريق ضرب (t_o) في عامل الكفاءة المتكامل (Ei) ، وقيمته أقل من واحد . وفي رادار المراقبة فإن (t_o) هي الزمن الذي يبقىٰ فيه الهدف في عرض الحزمة الإشعاعية ؛ فمثلاً معدل المسح الهوائي يساوي ١٠ دورة / دقيقة ، وعرض الحزمة (٢٠) مِل ، تكون (t_o) على هدف نقطوي حوالي (٢٠) ملي ثانية .

وينشأ الفقدان من أسباب مختلفة ، التوهين في المغذيات وفي مفتاح T/R ؛ والانحلال في الأداء خلال مدة عمل الرادار . وأهم فقدان عند الترددات العالية هو الناشىء عن التوهين الجوي ، بامتصاص الإشارة بواسطة الأوكسجين وجزيئات الماء . ويبين الشكل (٦ ـ ١٦) شكل التوهين . ويصبح هذا الفقدان غير ذات أهمية تساوي (λ) ٢٢ ملم ؛ ولاحظ نقاط الذروة والحضيض ، أو النوافذ الجوية عند الأطوال الموجية القصيرة ؛ فالنوافذ الجوية



شكل (٦ - ١٦) التوهين الجوي

عند الاطوال الموجية (٨ ملم) و (٣,٥) ملم تكون ذات فائدة للرادار الملمتري قصير المدى . والتوهين بسبب المطر أكثر خطورة وذو أهمية في الأطوال الموجية التي بحدود (١,٠) متر ، وتفاصيل الرسوم البيانية العددية لكل من التوهين الجوي والمطري متاحة في الكتب المدرسية الخاصة بالرادار وانتشار الموجة اللاسلكية .

ونسجل الآن معادلة تربط نسبة الإشارة إلى الضوضاء (S/N) للمستقبلة ، مع قدرة المرسلة ومدى الهدف . والصيغة العامة لهذه المعادلة هي :

$$S:/N = \frac{P(average)\, t_O\, E_i\, G\, A\, \sigma}{\ell\, (4\pi)^3 LFKT_o (b\hat{\imath}) R^4}$$

ولنفترض أن عرض النطاق الترددي للمستقبلة (B) متوافق مع ($\hat{\imath}$) ، بحيث أن $B\hat{\imath} = 1$ ، وأن الرادار مشترك لكل من الإرسال والاستقبال بحيث أن $A = G\lambda^2/(4\pi)$

فتصبح المعادلة :

$$S:/N = \frac{P\, t_o\, Ei\, G^2\, \sigma\, A^2}{\lambda\, (4\pi)^3 LFKT_o R^4}$$

ولاحظ أن معدل القدرة هو الذي يتم حسابه وليس قدرة النبضة . وكمثال على استخدام هذه المعادلة ولإعطاء فكرة عن قيم الكميات ، نحسب القدرة (P) المتوسطة لرادار معين لكشف هدف بالمواصفات التالية : σ = ١ م٢ ، R

= ٤٠ كم G = ٢٠٠٠ ، t_o = ٢ ملي ثانية ، Ei = ٠,٦ ، L = ١٠ ، f = ١٠ ، λ = ٠,١ م ولكشف الهدف يتطلب نسبة إشارة إلى ضوضاء عند الخروج بمقدار ١:٥٠ .

$$\therefore P = \frac{50 \times (4\pi)^3 \times 10 \times 10 \times 4 \times 10^{-21} \times (4 \times 10^4)^4}{2 \times 10^{-2} \times 0.6 \times (2000)^2 \times 1 \times (0.1)^4} = 212 \text{ واط (معدل)}$$

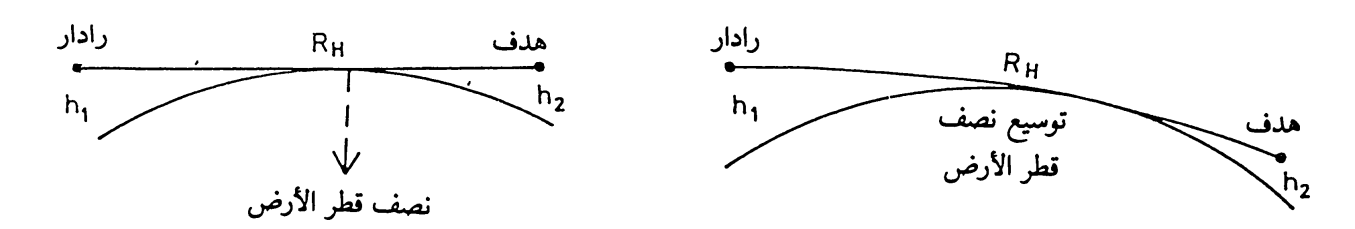
وإذا كانت prf = ١ كليوهيرتز وزمن النبضة (١) مايكروثانية فإن القدرة في نبضة مرسلة ستكون $\frac{212}{10^3 \times 10^{-6}}$ = ٢١٢ كليوواط . وهذه القدرات هي من ضمن قابلية الصمامات المتاحة للمرسلة .

٧ - العوامل الأخرى المؤثرة في أداء المنظومة :

علىٰ خلاف الأطوال الموجية الطويلة ، تستخدم الأمواج اللاسلكية في الإذاعة الخ . والأمواج الدقيقة لا يمكنها الانتشار لأية مسافة يمكن تقديرها علىٰ طول الأفق . وعلى شرط أن h_1 و h_2 << a شكل (٦ - ١٧أ) ، كما هو واقع الحال فإن مسافة الأفق هي :

$$R_h = \sqrt{2a\, h_1} + \sqrt{2a\, h_2}$$

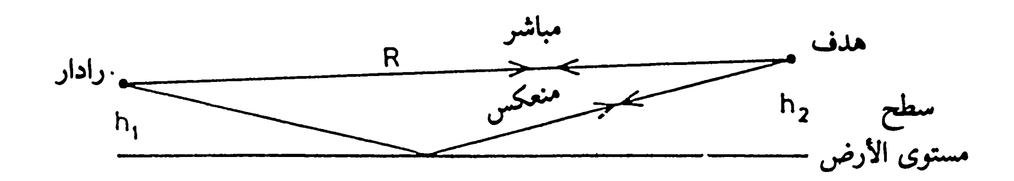
وفي الحقيقة تنتشر الأمواج الدقيقة بشكل خفيف علىٰ الأفق المرئي لأن الجو يحني الأمواج اللاسلكية إلىٰ الأسفل شكل (٦ - ١٧ب) . وسبب هذا أن



شكل (٦ - ١٧) الأفق

كثاف الهواء تنخفض مع الارتفاع بحيث أنّ الحافة السفلىٰ لجبهة الموجة تسير ببطء أكثر من الجزء العلوي الذي يكون في وسط أقل كثافة . وبتطبيق التصحيح على هذا تحت الحالات الجوية القياسية ، تتوسع (R_H) بحوالي ١٥٪ . وصيغة هـذا الأفق الـراداري هــو : $4130 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$ - حيث تقـاس h_1 و h_2 بالأمتار . ويبين المثال التالي أن هذه الصيغة تحدد مدىٰ كشف الرادار الأرضي لأهـداف الـطيـران المنخفض ؛ h_1 = ٣ م ، h_2 = ١٥ م يعـطي R_H = ٢٣ كيلومتـر . وعلى الأراضي المرتفعـة فإن الأفق قـد يكـون أقـل بكثيـر نتيجـة الحجب .

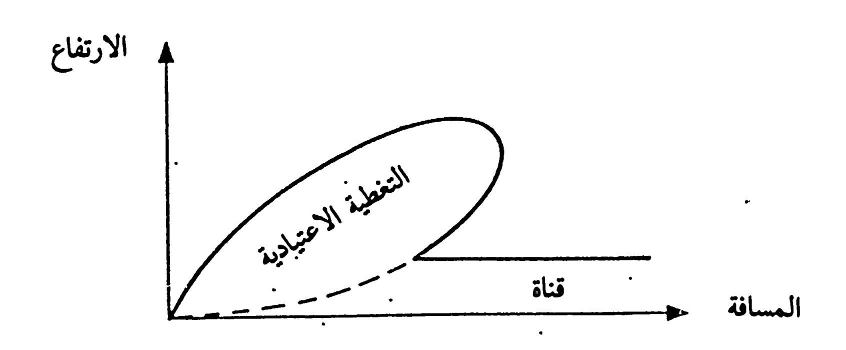
والعامل الآخر المؤثر قابلية الرادار لكشف الأهداف التي تـطير بشكـل منخفض هو التداخل بين الطريق المباشر والطريق المنعكس من سطح الأرض . وإذا كانت h_1 و h_2 صغيرتين مقارنة مع (R) شكـل (٦ ـ ١٨) ، بحيث تكون زاوية السافّة grazingangle للانعكاس صغيرة ، فسوف يحدث تداخل تام تقريباً



شكل (٦ ـ ١٨) الانعكاس عن الأرض المستوية

بين الموجات المباشرة والمنعكسة ؛ حيث يمكن ملاحظة هذا التأثير في البحر حيث تكون موصليته عالية . وتأثير هذا التداخل هو أن قوة الإشارة تهبط فجأة عند المديات ما بعد $\frac{12 h_1 h_2}{\lambda}$ وباستخـدام نفس الإرتفاعـات في المثال السـابق وجعل λ = ١ , ٠ م يتبين أن الهبوط المفـاجيء لقوة الإشـارة يحدث مـا بعد (٥ , ٤) كم : وهذا بوضوح تحديد خطين ولتخفيفه يستلزم إما رفع الهوائى إلىٰ أعلىٰ أو إنقـاص (λ) ، (لاحظ أن النظريـة تفترض أرضاً مستـوية ويشتـرط الافتـراض الصحيح أن تكـون $R \gg R_h$ ؛ كما أن انحنـاء الأرض يزيـد من التأثير . ومن حين لآخر فإن الحالات الجوية القريبة من سطح الأرض تؤدي إلى

مديات ذات امتداد كبير عند زوايا ارتفاع منخفضة . وإذا انخفضت كثافة الهواء فوق سطح الأرض تماماً بسرعة أكبر بكثير من الحالة الاعتيادية فقد تنحني موجات الرادار إلىٰ الأسفل بدرجة كبيرة جداً بحيث تتبع انحناء الأرض وتعطي ارتفاعاً في مجرىٰ شكل التغطية كما في الشكل (٦ - ١٩) . والقنوات تكون



شكل (٦ - ١٩) القناة الجوية

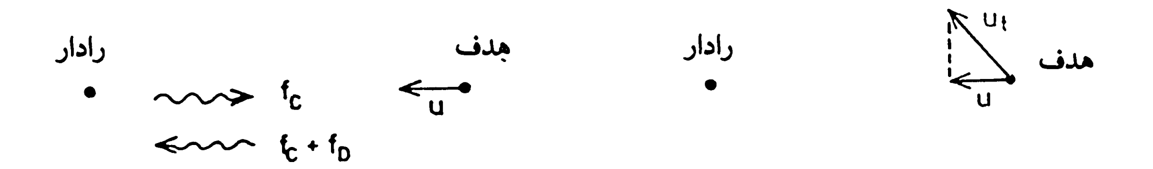
مرتفعة لبضعة أمتار فقط ، من هنا يمكنها فقط صد (إعاقة) الأطوال الموجية القصيرة كما في الرادار . وهي تظهر خصوصاً في المناخات الحارة فوق البحر ، وفوق الصحاري الحارة ليلاً ويمكنها أن تعطي مديات رادارية غير منتظمة لعدة مئات من الأميال .

٨ - رادار دوبلر :

يستخدم الرادار ظاهرة دوبلر لكشف حركة الهدف بالنسبة إلى الرادار ، ولقياس السرعة النسبية إذا كان ذلك ضرورياً . وإذا كان الهدف يتحرك نسبة إلىٰ الرادار بسرعة (u) فإن تردد الإشارة المستلمة تختلف عن التردد المرسل بمقدار تردد دوبلر شكل (٦ - ٢٠) الذي يساوي :

$$F_D = u \frac{2f_c}{C} \text{ أو } \frac{2U}{\lambda}$$

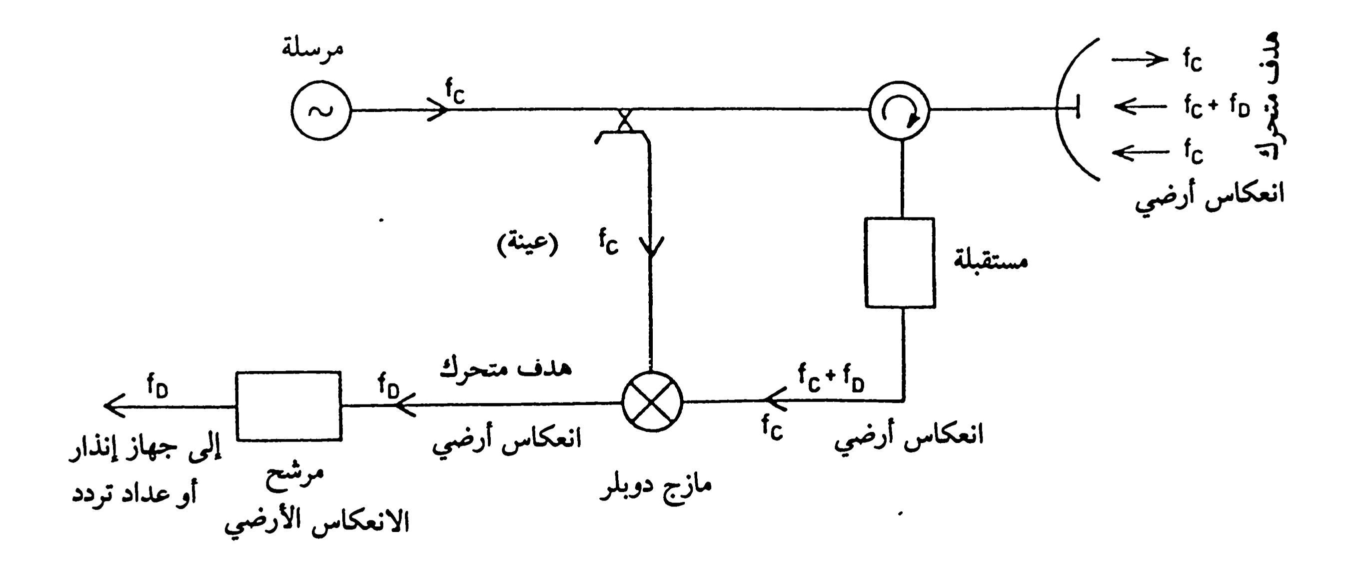
وتكون f_D موجبة إذا كان الهدف مقترباً، وسالبة إذا كان الهدف مبتعداً . ويلاحظ أن السرعة النسبية فقط هي التي تسبب ظاهرة دوبلر . وعندما تتحرك



شكل (٦ ـ ٢٠) ظاهرة دوبلر

عجلة باتجاه الرادار بسرعة ٣٠ ميل / ساعة (١٣,٤ متر / ثانية) فإنها تعطي تردد دوبلر حوالي (٩٠٠) هيرتز عند الطول الموجي للرادار λ = ٣٠ ملم ، وهو التردد الذي يقع ضمن الطيف الصوتي . من ناحية أخرىٰ إذا كانت طائرة تطير بسرعة (٦٦٠) م / ثانية فإنها تعطي إزاحة دوبلر بمقدار (٤٤) كيلوهيرتز ولنقس الطول الموجي .

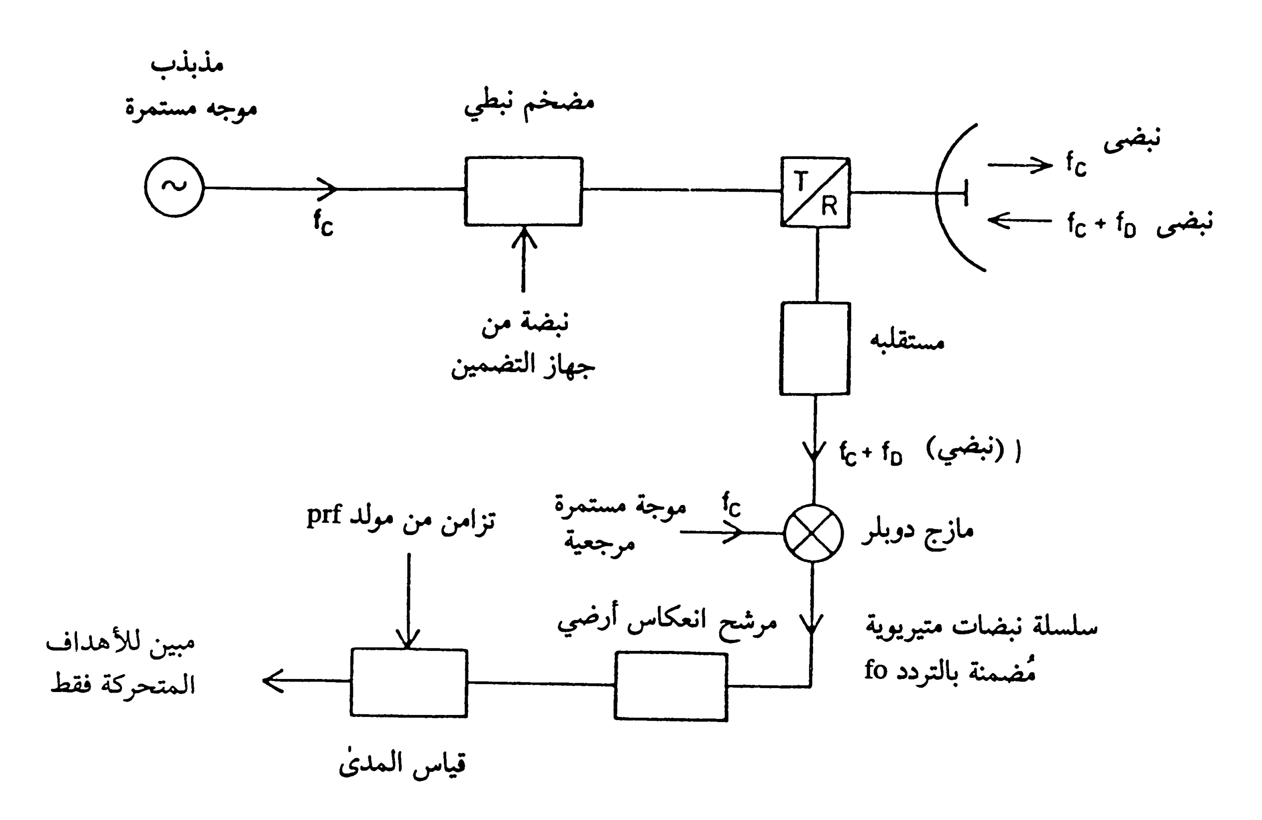
ويبين الشكل (٦ ـ ٢١) المخطط الكتلوي لـرادار موجـة مستمرة بسيط لكشف الأجسـام الدخيلة . ويقـوم الرادار بمقـارنة تـرددات الإشارة المـرسلة والمستلمة ؛ حيث يشير الفرق بينهما إلىٰ وجود جسم متحرك ، وبالإضافة إلىٰ إمكانية إطلاق التنبيه ، بينما قياس التردد دوبلر يعطي بسرعة سرعة الهدف كما في رادارات حركة المرور البوليسيـة الخ . الغـرض من مرشـح الإنعكاسـات



شكل (٦ ـ ٢١) رادار دوبلر

الأرضية هو لإزالة الإشارات المحتوية علىٰ تردد دوبلر (f_D) بقيمة صفر أو قريب من الصفر ؛ أي الإشارات الآتية من الأجسام الساكنة . ويمكن الموزع Circulator ، الرادار من استخدام نفس الهوائي لغرض الإرسال والإستلام .

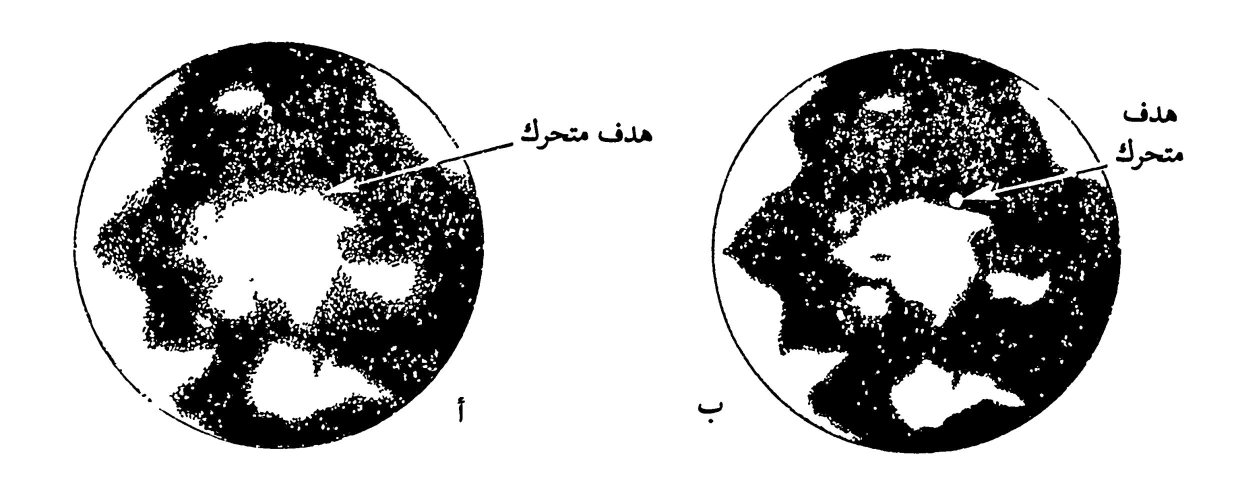
والرادار النبضي الاعتيادي لأغراض كشف الأهداف الجوية التي تطير بمستوىٰ منخفض أو الأهداف السطحية ، يعاني علىٰ نحو خطير من الانعكاسات الأرضية التي يمكن أن تحجب بشكل تام الأهداف المتحركة الصغيرة . إن تعديل الرادار لكشف إزاحة دوبلر يمكنه من رؤية الأهداف المتحركة الصغيرة رغم وجود ضوضاء خلفية قوية . مثل هذا الرادار يشبه رادار الموجة المستمرة المبين في الشكل (٦ ـ ٢٢) ، باستثناء أن الإرسال يكون نبضياً في المضخم الذي يلي مذبذب الموجة المستمرة . ويستخدم الرادار طريقة



شكل (٦ ـ ٢٢) رادار نبضي مع مبين الأهداف المتحركة لرادار دوبلر

قياس المدىٰ التقليدية ويمكن مـرشح الإنعكـاسات الأرضيـة يلفظ الإشارات المنعكسة من الأهداف الثابتة .

ويبين الشكل (٦ ـ ٢٣أ) مبين شاشة لرادار مراقبة جوية نبضي ، ويمكن ملاحظة الإنعكاسات الأرضية الثقيلة . أما الشكل (٦ ـ ٢٣ب) فنشـاهد مبيناً



شكل (٦ ـ ٢٣) مبين PPI مع مبين الأهداف المتحركة

لنفس الرادار ولكن مع استخدام مبين الأهداف المتحركة . وتستخـدم معظم رادارات المراقبة الحديثة للدفاع الجوي مبين الأهداف المتحركة (MTI) .

ويمكن لنفس النوع من الرادار قياس سرعة كل هدف متحرك بقياس تردد أو ترددات دوبلر ، الخاصة به ، بعد قياس المدىٰ . ولا يتطلب رادار مـراقبة ساحة المعركة أكثر من زوج سماعتين إذن للمشغل ليسمع نغمة تردد دوبلر ؛ من حانب آخر يتطلب رادار الدفاع الجوي منظومة مُحكمة من مرشحات التردد لعزل ترددات دوبلر من عدة أهداف والتي قد تكون موجودة في غارة كتلوية . ولتعيين كتلة الهدف فإن البيانات من مثل هذا الرادار ستكون خارج قابليات المشغل ؛ إن خزن وتحديد البيانات هي من مهمة الحاسب الالكتروني . ورغم أنه ليس هناك فرق أساسي بين هذا النوع من الرادار ، ورادار (MTI) ، فإن الرادارات النبضية التي تستخدم ظاهرة دوبلر لقياس السرعة تُعرف عموماً برادارات دوبلر النبضية .

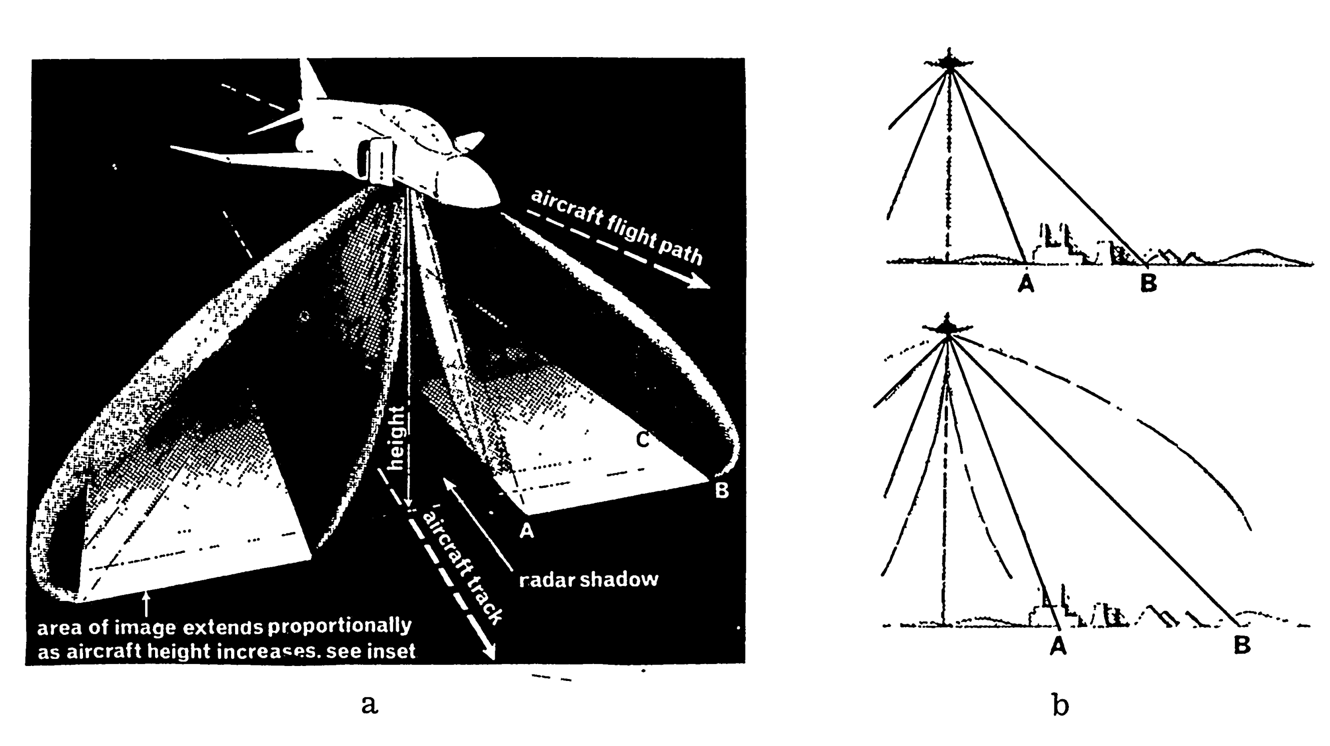
وتبرز صعوبة واحدة في الرادارات التي تقيس المدىٰ وتستخدم ظاهـرة دوبلر . فإذا تساوى الترددان، أو إذا كان تردد دوبلر من مضاعفات الـ (prf) ، فإن الترددين يتداخلان بطريقة تجعل تردد دوبلر يبدو وكأنه صفراً ، أي كما لو أن الهدف ثابت . ويقوم مرشح الانعكاس الأرضي للفظ إشارة الهدف المنعكسة ويصبح الرادار « أعمىٰ» بالنسبة للأهداف ذات السرع المتماثلة . فعلىٰ سبيل المثال رادار مراقبة الدفاع الجوي مع (MTI) يمكنه توقع أهداف تطير بسرع تصل إلى ٦٠٠ م / ثانية ، والـ prf(٢) كيلو هيرتز و λ = ١ , ٠ م ∴ (f_d) تقع في المدىٰ من صفر إلى (١٢) كيلو هيرتز ؛ وضمن مدىٰ التردد فليس هناك أقل من (٦) سرع عمياء كل ١٠٠ م /ثانية . من ناحية أخرىٰ فإن رادار مراقبة المعركة لا يتوقع أن يجابه هدفاً يسير أسرع من (٣٠) م /ثانية ومن المحتمل أن تكون prf أعلىٰ وسوف لن تكون هناك صعوبة مع السرع العمياء . وحيثما توجد السرع العمياء فمن الأفضل استخدام أطول طول موجي ممكن ؛ من جانب آخر هناك حدود لهذا والحل المألوف للمعضلة هو استخدام عدة (prf) مختلفة ، بحيث أن الرادار لا يُعمىٰ كلياً في مدىٰ سرع الأهداف المؤثرة .

٩ ـ المراقبة من الجو :

إن الطائرة والمركبات المسيرة عن بعد والأقمار الصناعية تكون مناسبة علىٰ وجه الخصوص للمراقبة الأرضية ؛ وهي نافعة لاستطلاع المجال الجوي بسبب المسافة الطويلة التي تقطعها إلى الأفقْ . وكمثال على ذلك رادار المراقبة الجانبية المحمول جواً (SLAR) ، والمنظومات الحديثة مثل الأواكس (AWACS) .

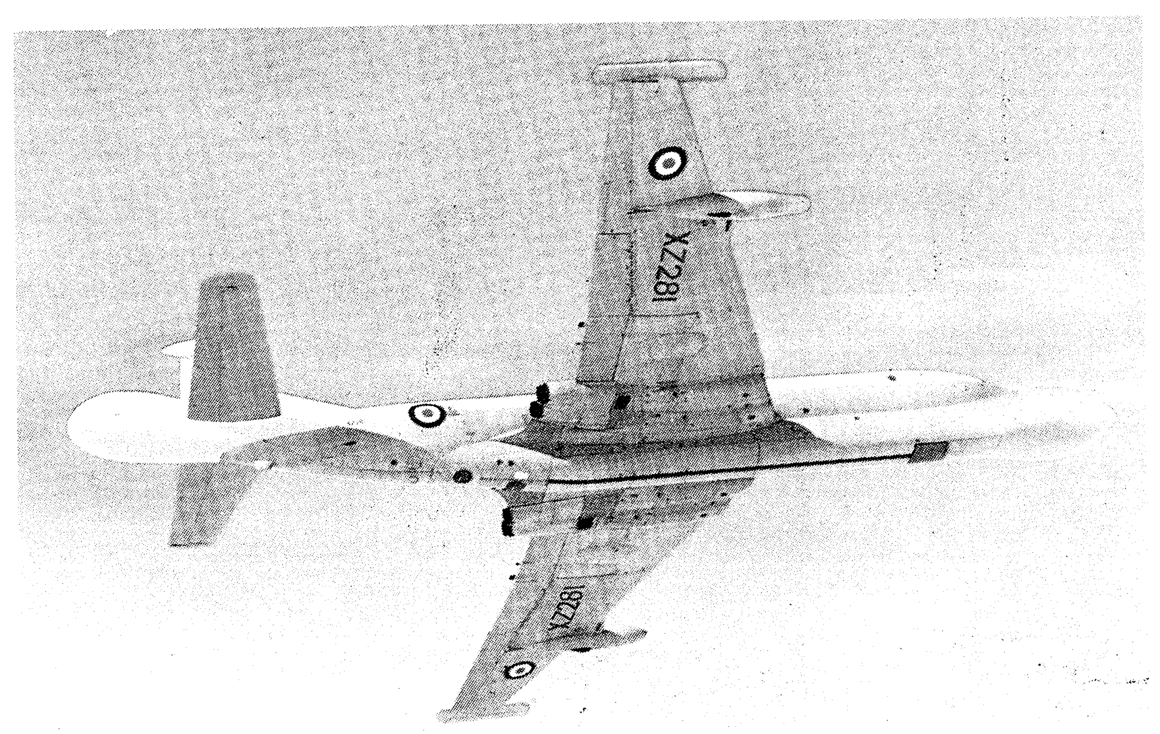
ولرادار المراقبة الجانبية المحمول جواً هوائي خطي موضوع في حجيرة (pod) تحت جسم الطائرة مباشرة . ويقوم بتوليد حزمة ضيقة جداً في اتجاه زوايا عمودية على طريق الطيران . وتكون هذه الحزمة عريضة في المستوىٰ العمودي ، وعادة تكون على شكل مربع قاطع تمام ، وبالتالي فإنها تغطي شريطاً واسعاً من الأرض . وتقوم كل نبضة بمسح موضع الشريط الأرضي

المُغطىٰ بحزمة الهوائي ، وتظهر إشارة الهدف المنعكسة كنقاط لامعة على قاعدة زمنية خطية على مبين CRO وبكثافة عالية . وتقوم الكاميرا السينمائية المتزامنة مع سرعة الطائرة بتصوير هذا المبين فوتوغرافياً بشكل مستمر وبذلك تنشأ خريطة رادارية للشريط الأرضي . ويبين الشكل (٦ ـ ٢٤) رسماً تخطيطياً لحزم الهوائي ، وهما حزمتان ، كل واحدة على جانب ، ولكن لبعض المنظومات حزمة واحدة .



شكل (٦ ـ ٢٤) رادار المراقبة الجانبية المحمول جواً

وللرادار مبين أهداف متحركة ، يبين الأهداف التي تتحرك على الأرض (تعوض منظومة MTI طوعياً عن حركة الطائرة بالنسبة إلىٰ الأرض) . ولكي تكون تفاصيل الخريطة الرادارية دقيقة بما فيه الكفاية ، فإن كلاً من عرض الحزمة الأفقية للهوائي وعرض النبضة يجب أن يكون ضيقاً جداً ؛ ويمكن للـ SLAR تحليل المساحات الأرضية ٢٠ م × ٢٠ م . ويوسع مراقبة المجال الجوي المحمولة جواً توسيع الأفق إلى عدة مئات الأميال . ويبين الشكل (٦ ـ ٢٥) منظومة (نمرود) على هيئة إنذار مبكّر محمول جواً (AEW) ؛



شكل (٦ ـ ٢٥) طائرة نمرود على هيئة إنذار مبكر محمول جواً

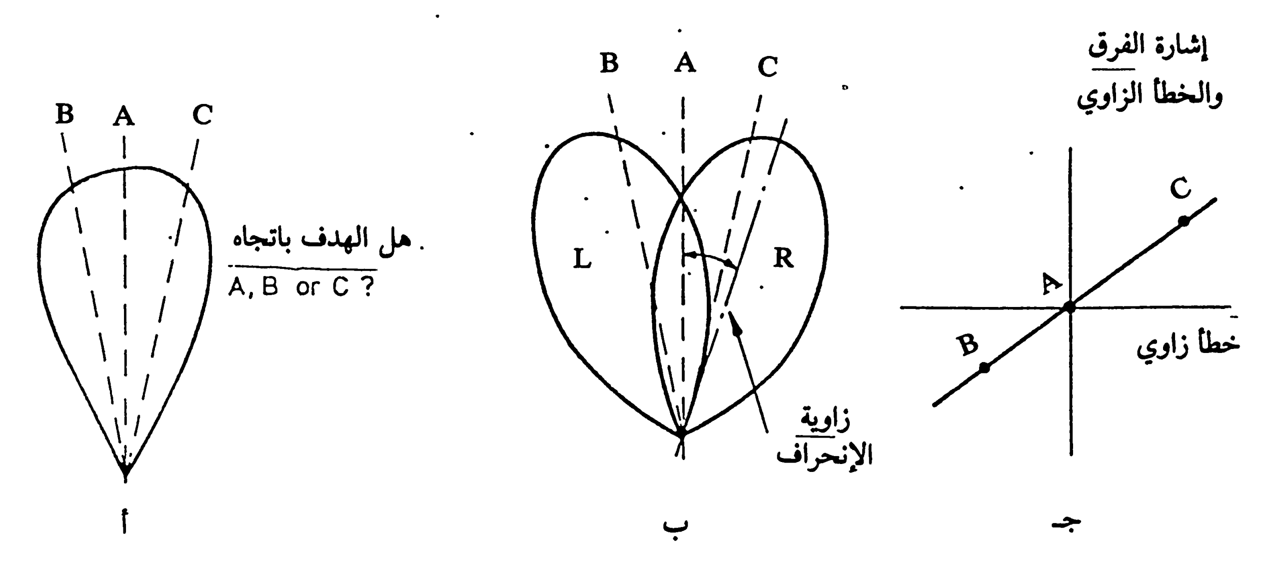
وتحمل الطائرة رادارين ، واحداً في المقدمة والآخر في المؤخرة ويوفران معاً مراقبة في كل الجهات .

١٠ ـ رادار التتبع :

يعطي رادار المراقبة الموقع التقريبي لكل الأهداف الواقعة ضمن مساحة أو حجم مراقبته . ويعتبر هذا كافياً بالنسبة لبعض الأغراض ، ولكن لكي تدمر منظومة السلاح هدفاً ما فإنها تتطلب تسجيلاً دقيقاً ومستمراً لموقع هذا الهدف المفرد . وغالباً ما تعتمد منظومات الأسلحة قصيرة المدىٰ على تتبع الهدف بصرياً ، ولكن يصبح الرادار ضرورياً للمنظومات ذات المديات الطويلة والمنظومات التي تعمل ليلاً وفي كل الظروف الجوية .

ورادار التتبع للأهداف المحمولة جواً يجب أن يوفر قياساً دقيقاً ومستمراً للإتجاه في كل من الإتجاه والارتفاع والمدىٰ . ويبين الشكل (٦ ـ ٢٦) هوائي استقبال بحزمة ضيقة ، وبسبب من القمة المسطحة لموضع الحزمة فإنه من الصعب على الرادار أن يبين فيما إذا كان الهدف في النقطة (A) ، أو علىٰ محور

الهوائي ، أو في النقطة (B) أو في النقطة (C) . وتبتعد كل نقطة بعض الشيء عن المحور وعلىٰ الجوانب المتعاكسة ، ولا يمكن للرادار أن يجري عملية التتبع بشكل مُرضٍ في الزاوية . ويبين الشكل (٦ ـ ٢٦) أن الحزمة تنشطر إلىٰ حزمتين تتفرعان من محور الهوائي ، أو سدادة الجوف[٢] (boresight) بزوايا منحرفة متعاكسة ومتساوية . وتأخذ دوائر التتبع الزاوي للرادار الفرق في قوة إشارة الهدف في كلا الحزمتين ؛ A ، على محور ، يعطي نفس قوة الإشارة في كل حزمة ، وبالتالي يكون الفرق صفراً ؛ وإذا كان الهدف خارج المحور في (B) ، فإن الإشارة في الحزمة (L) تكون أكثر بكثير منها في الحزمة (R) ، فتعطي فرقاً كبيراً في الإشارة ذات العلامة الواحدة ؛ أما الهدف الواقع خارج المحور في (C)فإنه يعطي فرقاً كبيراً في الإشارة وبعلامة معاكسة . ويبين الشكل (٦ ـ ٢٦ جـ) خصائص الخطأ الزاوي . وتعمل فولتية الخطأ الزاوي علىٰ

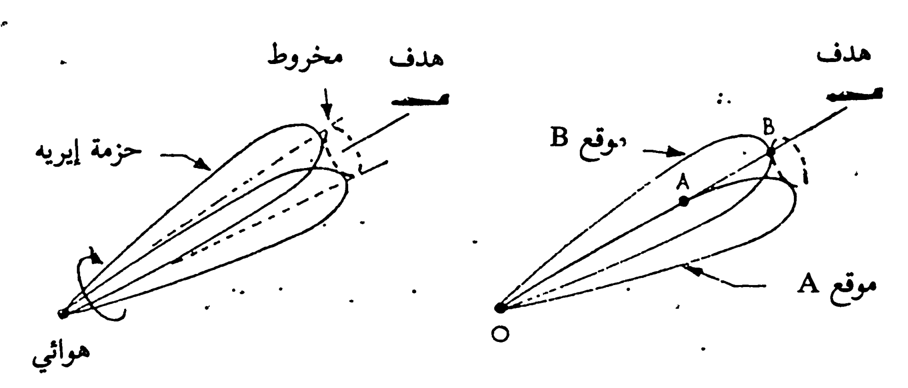


شكل (٦ ـ ٢٦) رادار التتبع في الزاوية (سطح واحد)

تحريك موقع الهوائي لمطابقة سدادة الجوف على محور الهدف . بهذه الوسائل يستطيع الرادار الجيد أن يتتبع هدفاً ($\frac{١}{٢٠}$) من عرض حزمته . ويبين الشكل (٦ ـ ٢٦) تتبعاً في المستوىٰ الأول فقط ؛ ولأجل التتبع في المستوى الثاني فإنه يتطلب زوجاً ثانياً من الحزم وقناة ثانية للخطأ الزاوي . هذه المنظومة المتكونة

من زوجين من الحزم المتلازمة تعرف بالانشطار الساكن أو إحادية النبضة ؛ وهي إحادية النبضة لأن كل نبضة مستلمة تعطي مجموعة متكاملة من معلومات الخطأ الزاوي .

ومنظومة الإنشطار (الانفلاق) الساكن غالية الثمن ومعقدة ولكن جودة تتبعها عالية . والمنظومة البسيطة والرخيصة هي أن تستخدم حزمة متفرعة إحادية تدور حول محوز سدادة الجوف بمعدل عالٍ جداً (إلى حد ٦٠٠٠ دورة / دقيقة) شكل (٦ ـ ٢٧) . هذه الحزمة الأحادية تقوم بإجراء قياسات



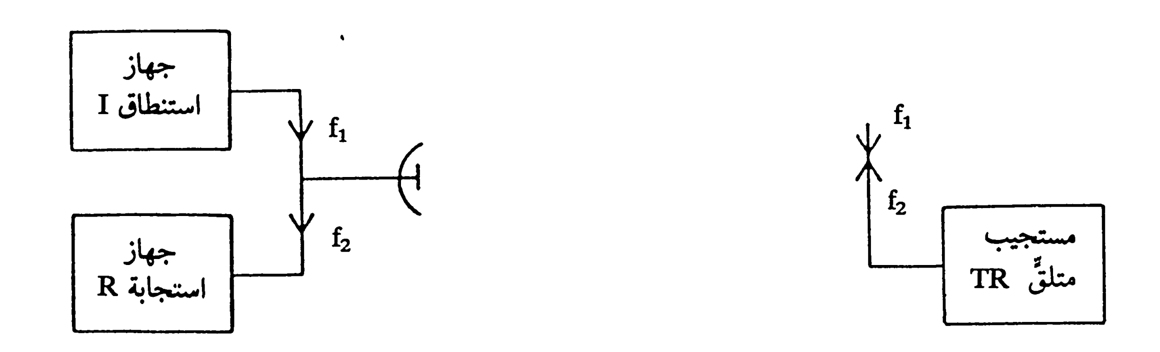
شكل (٦ ـ ٢٧) المسح المخروطي

متعاقبة لقوة إشارة الهدف وبالتالي الحصول على نفس الزوج من الفرق أو إشارات الخطأ الزاوي . ومن مزايا المنظومة أنها تتطلب مغذياً هوائياً بسيطاً ومستقبلة بقناة مفردة ؛ من جانب آخر تكون معرضة للأخطاء الناشئة من التبدلات في مساحة إنعكاس الهدف التي تظهر خلال فترة الدوران ؛ والمنظومة مفتوحة لشكل معين من التداخل يعرف بتشويش التردد الدوَّام ، ويعطي المجفر الرقمي علىٰ كل محور من محوري تثبيت الهوائي ، يعطي اتجاه الهدف بالاتجاه والإرتفاع لتمريره إلى مركز التحكم بالسلاح الخ . كما يقيس رادار التتبع أيضاً المدىٰ بشكل طوعي . وتضع منظومة المؤازرة العلامة الإلكترونية للمدىٰ على إشارة الهدف المنعكسة حيث تتبع التبدلات التي تحصل في المدىٰ . وتقوم منظومة البيانات الرقمية أيضاً بإمرار المدىٰ إلىٰ نفس المركز بعد تمثيله بفولتيه منظومة المؤازرة الداخلية

إن وجود هدفين متجاورين يعتبر مصدر صعوبة محتملاً، يؤدي ربما إلىٰ فقدان كامل للمسك (Lock) . ولرادارات التتبع درجة عالية من قدرة التفريق الراداري في الزاوية وفي المدىٰ لتقليل هذه الصعوبة إلى حدها الأدنىٰ .

١١ ـ تمييز الصديق والعدو والرادار الثانوي :

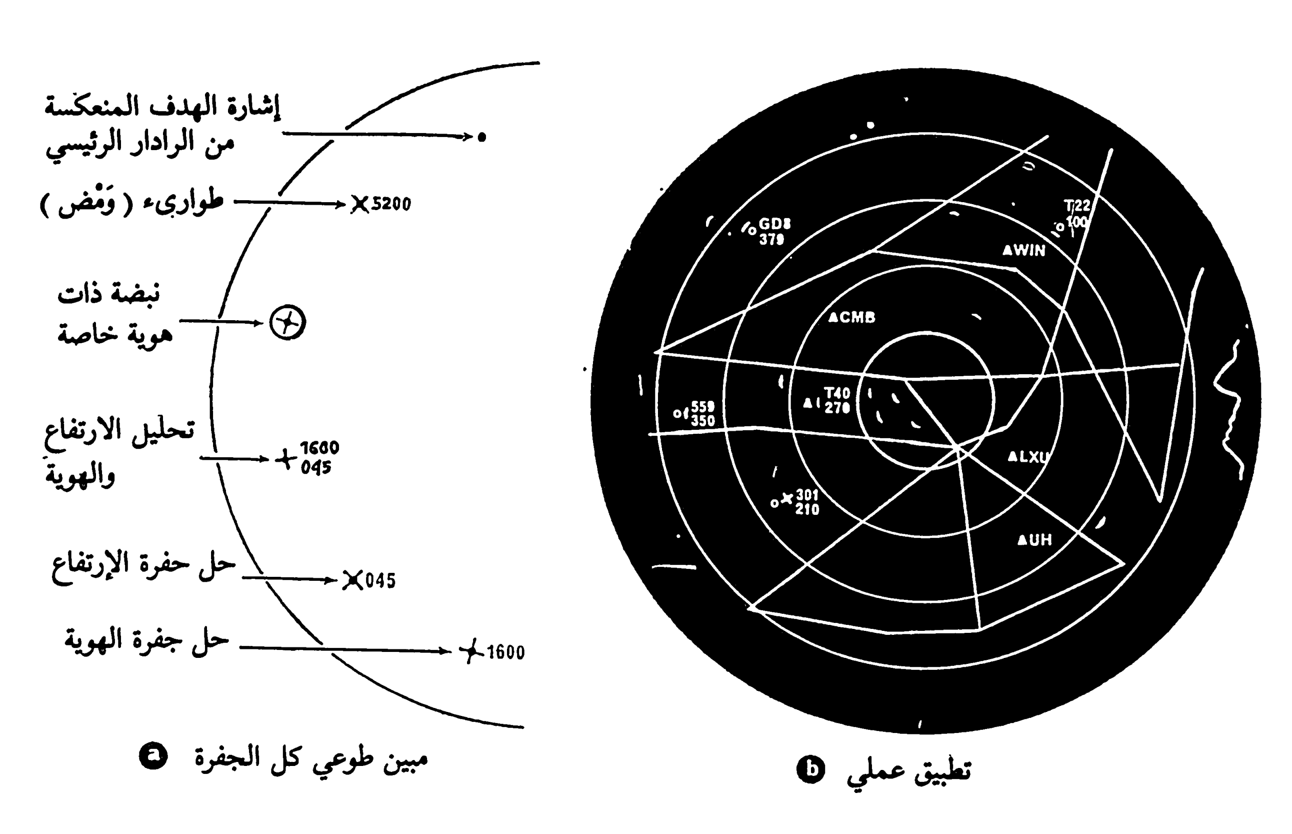
إن واحدة من المعضلات التي تواجه الرادار هي تعريف (تعيين الهوية) الهدف المعادي . وفي بعض الأحيان يمكن الاستدلال على الهدف من خلال سلوكه ، ومساره وارتفاعه ، ومن التقارير المحصلة من المواقع الأخرىٰ ، ولكن من الأفضل استخدام الطريقة الآنية والطوعية لإنشاء ذلك . وقد استعملت منظومات تمييز الصديق والعدو التي تستخدم الرادار منذ الحرب العالمية الثانية ، وباستخدام تقنية تدعىٰ الرادار الثانوي . إن جهاز الإرسال والاستقبال ، والذي يرتبط إلىٰ راداره الأصلي ، يرسل سلسلة نبضات مجفرة بتردد حامل (f_1) ، في اتجاه الهدف الذي استمكنه الرادار ولكن لم يعرِّفه .



شكل (٦ ـ ٢٨) الرادار الثانوي لـ IFF

ويحمل الهدف الصديق جهاز تَلَقٍ واستجابة الذي يستلم ويحلل الاستنطاق (الاستجواب) interrogator ثم يرسل إجابة مجفرة على تردد (f_2) . ويستلم المستجيب الجواب ، وإذا كانت الإجابة صحيحة ، فإن هذا يشير إلى أن الهدف صديق . وتأخر الجواب الصحيح ربما يؤخذ بما يعني أن

الهدف معادٍ ، أو ، على الأقل غير معرَّف . ويعمل جهاز تمييز الصديق والعدو IFF نـوع MK_{10} الحالي في نـطاق التردد (١) كيكـاهيرتـز مع فـاصلة (٦٠) ميكاهيرتز بين الترددين . ويرسل جهاز الإرسال والاستقبال سلسلة من نبضتين تكون فتراتهما الزمنية متغيرة ؛ ويجيب جهاز المتلقي / المستجيب إجابة مجفرة تحتوي (١٤) نبضة . وتستخدم نفس المنظومة في السيطرة على الحركة الجوية المدنية (ATC) رغم اختلاف رموز المنظومة . وتحتوي الإجابة في هذه الحالة معلومات حول هوية الهدف وارتفاعه الخ . ويمكن عرضها على شاشة الرادار (PPI) كما في الشكل (٦ ـ ٢٩) .



شكل (٦ ـ ٢٩) مبين ATC

ومنشأ الصعوبات في هذه المنظومات هو ارتباك الإجابات من أكثر من جهاز مرسل مستجيب واحد (خطأ في استقبال رسالة لاسلكيـة أو إرسالهـا) ويؤدي الإستجواب المفرط للمرسل المستجيب من عدة أجهزة إرسال واستقبال في وقت واحد ؛ عدم إجابة كلية . من ناحية ثانية يتم دمج الدوائر التي تخفف

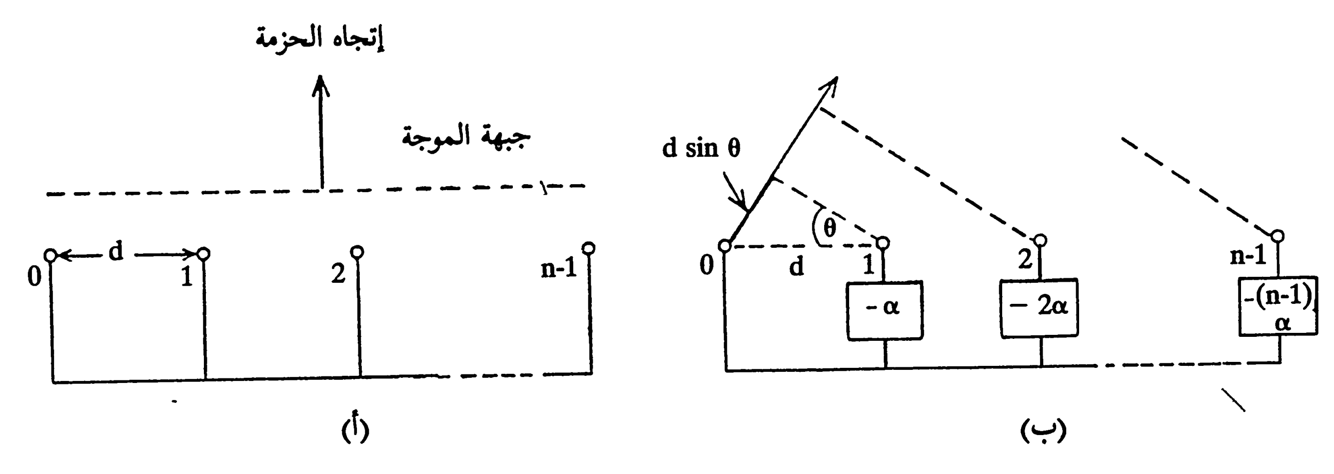
هذه الإزعاجات . والصعوبة الأخرىٰ التي تؤثر على IFF هي أنها ليست مأمونة من النقص . وإذا كان المرسل المستجيب للطائرة الصديقة غير فعال أو لا يعمل بشكل صحيح فإن أجهزة الدفاع سوف تعتبر الطائرة معادية . ولحد الآن ليس هناك حل لهذه الصعوبة .

والتطبيقات الأخرىٰ للرادار الثانوي في منظومات الملاحة ؛ على سبيل المثال طائرة تستطيع تحديد موقعها بواسطة استجواب شبكة مرشدات التوجيه والإنذار bcacons الثابتة وقياس الزمن المنقضي لكل إجابة . ويمكن توسيع الفكرة لتشمل العجلات أو حتىٰ الأشخاص الذين يمشون على الأرض . وفي عملية المسح فإن الردار الثانوي يلغي فترة الملل الناتجة عن قياس المسافات الطويلة بواسطة المقياس التسلسلي وليعطي دقة قياس تصل إلىٰ بضعة سنتمرات .

١٢ ـ توجية حزمة الهوائي الكترونياً أو بالتصور الذاتي :

من الواضح أن هناك صعوبات ميكانيكية في تدوير هوائي كبير بمعدل دوران عالٍ ، خصوصاً إذا كان يقوم بمسح قوس محدد . ومن الصعب أيضاً تغيير برنامج المسح ؛ ولذلك تكون المنظومة غير مرنة . والتوجيه الإلكتروني للحزمة يُلغي الحاجة إلىٰ تحريك أي جزء من الهوائي ميكانيكياً : وهي لذلك تقدم معدلات مسح أسرع ، كما ويمكن تغيير برامج المسح حسب الرغبة وحتىٰ من الممكن جمع عملية تتبع الأهداف المنفردة مع إجراء عملية المراقبة المستمرة . أما التحديد الرئيسي فإنه من غير الممكن مسح مقطع أكثر من (١٢٠°) درجة لذلك فإن تغطية كل الجهات تتطلب ثلاث مصفوفات ومن المفضل أن تكون أربع .

ويبين الشكل (٦ ـ ٣٠) مبدأ توجيه الحزمة إلكترونياً في مستوىٰ واحد . وتتألف مصفوفة المستوىٰ الأحادي التقليدية من خط مكون من عناصر استقبال أو استلام منفردة ، تعمل جميعها في نفس الطور . وتعمل المصفوفة على إرسال واستلام جبهة الموجة الموازية لخط المصفوفة بحيث يكون الإنتشار أو الاستلام

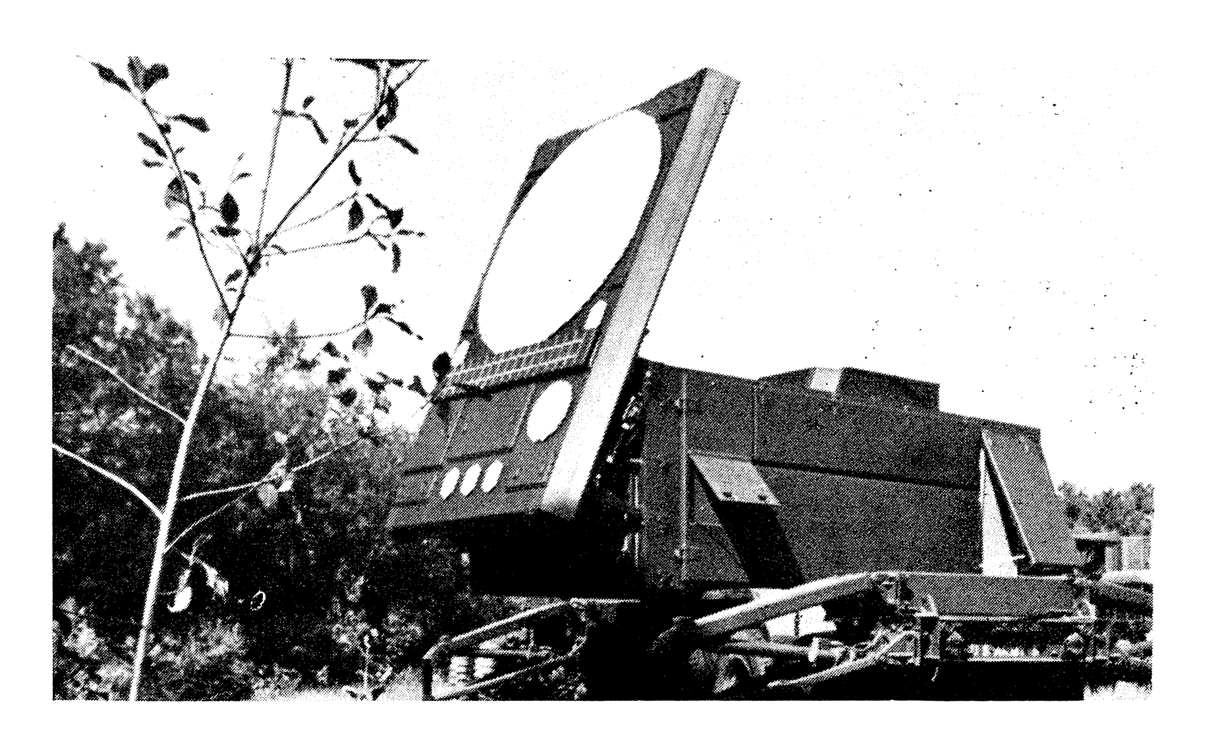


شكل (٦ ـ ٣٠) التوجيه الإلكتروني للحزمة

سطحاً عريضاً . وبإدخال التبدل التدريجي للطور على طول المصفوفة (ب) يمكن إحداث دوران الحزمة . وعلىٰ افتراض أن التبدل التدريجي للطول هو ($-\alpha$) من الزوايا النصف قطرية بين عنصر وآخر . وفي جبهة الموجة المشتركة للعناصر صفر و (١) فإن الإشعاع يجب أن يكون بنفس الطور علىٰ طول جبهة الموجة ؛ ولمعادلة تأخير الطول لـ (α α) من العنصر (١) فإن الإشعاع من العنصر (صفر) يجب أن يتحرك مسافة إضافية تساوي ($d\sin\theta$) بحيث أن تأخير الطول المماثل ، الذي هو $\frac{2\pi\, d\, sino}{\lambda}$ يساوي (α) . وبالتالي فإن جبهة الموجة واتجاه حزمة الهوائي يتم تدويرهما خلال زاوية مقدارها ($\alpha\lambda\, 2\pi\, d$) $\sin^{-1}$. وعند عكس إشارة (α) يتم تدوير الحزمة بالإتجاه المعاكس .

ويدعىٰ هذا « المصفوفة الطورية » ؛ ومزيحات الطور هي وسائل الكترونية تعمل بسرعة عالية جداً معطيةً حركة سريعة للحزمة . وبواسطة التحكم في مزيحات الطور بواسطة الحاسبة فإن برامج المسح المتقنة والتتبع تصبح ممكنة . ويوضح المخطط التوجيه في مستوىٰ أحادي ، والتوجيه في كل من المستويين الأفقي والعمودي يكون ممكناً باستخدام مصفوفة سطحية من عدة صفوف أو أعمدة من المصفوفات الخطية . ومن الناحية المثالية فإن كل عنصر في المصفوفة تتم السيطرة عليه بشكل منفصل ولكن مع وجود (١٠,٠٠٠) عنصر فإن هذه ليست عملية سهلة . وهناك منظومة بسيطة ولكنها قليلة تسيطر

على طور كل صف وكل عمود للمشعات . ويبين الشكل (٦ ـ ٣١) مصفـوفة طورية سطحية لرادار الدفاع الجوي « باتريوت » (PATRIOT) ثلاثي الأبعاد الذي يجمع عمليات المراقبة والتتبع الدقيق لعدة أهداف في آن واحد .

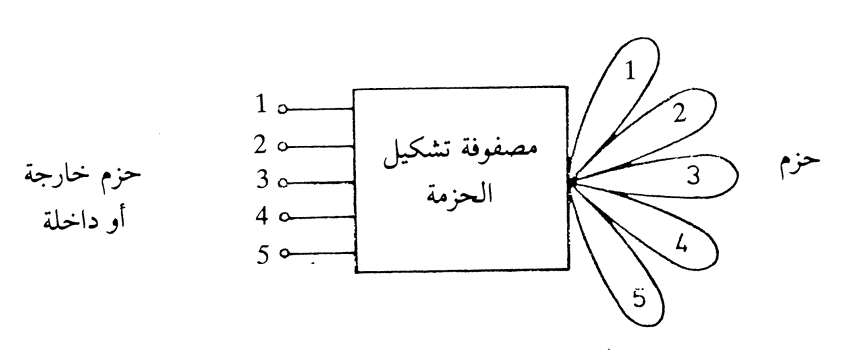


شكل (٦ ـ ٣١) المصفوفة الطورية

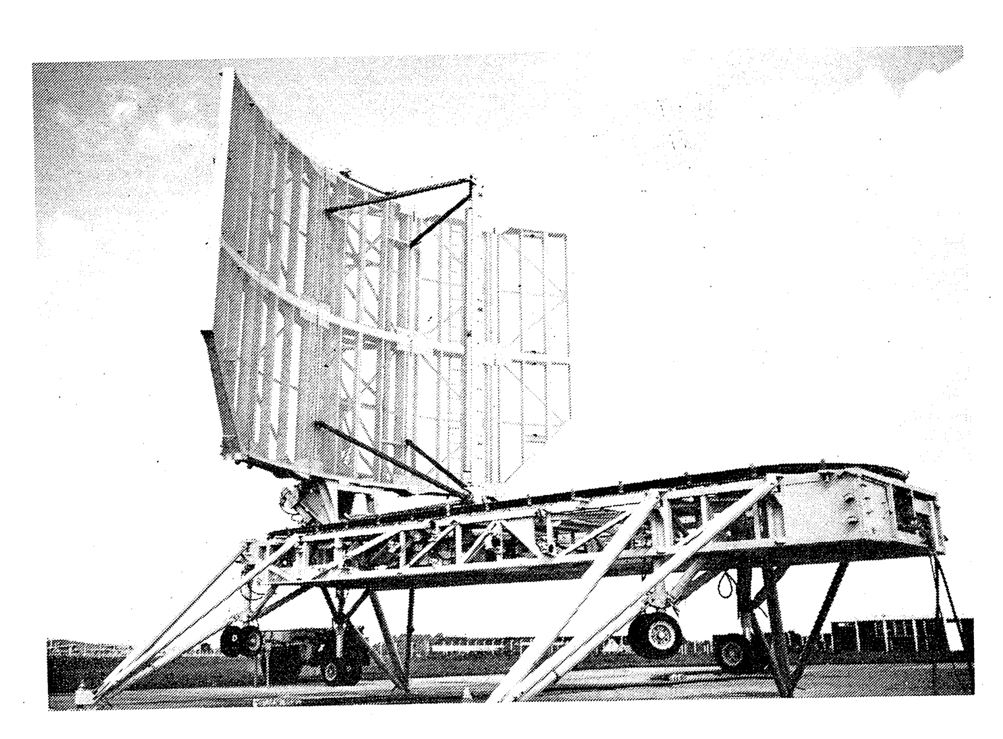
إن التوسع في توجية الحزمة الكترونياً هو في توليد عدد من الحزم في اتجاهات ثابتة بواسطة مصفوفة من مزيحات الطول الثابتـة ووسائـل ارتباط . وتُستخدم هذه التقنية لقياس الإرتفاع في رادارات المراقبة للدفاع الجوي مع مسح ميكانيكي تقليدي للزاوية ، ولتغطية قطاع بالإتجاه برادار مراقبة المعركة . ويمكن جمع وتشكيل حزمة متعددة مع توجية الحزمة الإلكترونية لتوليد عنقود متحرك لأربع حزم لتتبع الهدف بواسطة الانشطار الساكن .

وعادة تكون المصفوفة الطورية غـالية الثمن وإن الحـاجة إلىٰ مصفـوفة طورية عدد (٤) لمراقبة كل الجهات ، يعتبر من المساوىء الخطيرة . والحل

الوسط هو جمع الدوران الميكانيكي التقليدي في الإتجاه مع التوجيه الإلكتروني للحزمة في الإرتفاع ويبين الشكل (٦ ـ ٣٣) مثل هذه المصفوفة .



شكل٦ ـ ٣٢) تشكيل الحزمة المتعددة



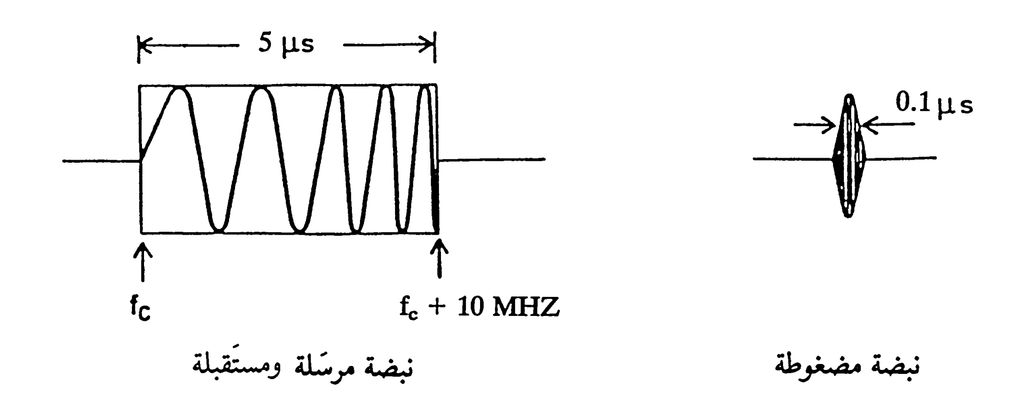
شكل (٦ ـ ٣٣) توجيه الحزمة الكترونياً في الإرتفاع

والمصفوفة الطورية سوف لا تكون رخيصة كنظيرتها الميكـانيكية ولكن تطوير هوائيات الدائرة المطبوعة الخفيفة الوزن والرخيصة ، فإن الإنتاج الوفير لفالقات الطور المصغرة ومع حلول المعالج الدقيق microprocessor ، يعتبر دلالة تبشر بالانتشار الواسع والكثير في استخدام التوجيه الإلكتروني للحزمة .

١٣ ـ انضغاط النبضة :

ويعتبر هذا تطوراً آخر حديثاً ومهماً. وتستلزم قدرة التفريق الجيدة للمدىٰ ، بالمقابل نبضة قصيرة . مع ذلك يعتمد مدىٰ الكشف على معدل قدرة الإرسال ، وبالتالي كلما قصرت النبضة كلما ازدادت قدرتها للإبقاء علىٰ معدل القدرة المطلوب . وفي الرادارات الكبيرة التي تستخدم المرسلات الصمامية ، فإن قدرة النبضة المتاحة ـ رغم علوها ـ تكون محددة بانهيار العزل نتيجة الجهد العالي المطلوب وبعدم قابلية الصمام لتوليد تيار عالٍ ؛ وهي محددة أيضاً بالانهيار الكهربائي في المغذيات وبالكورونا (Corona) في الهوائي . وتكون الترددات الصغيرة التي تستخدم أشباه الموصلات ، محددة بالإنهيار في المادة . ويصبح هناك عدم تجانس في الجهد في كلا المتطلبين . ولحل هذه الصعوبة ، يتم إشعاع نبضة أطول بكثير مقابل قدرة نبضة واطئة ولتجديد قدرة تفريق المدىٰ من طريق تضمين الموجة الحاملة للتردد اللاسلكي ضمن غلاف النبضة . والتضمين يجب أن يكون له عرض نطاق ترددي (β) يساوي معكوس قدرة التفريق الزمني المكافىء . ولنفرض أن الرادار بقدرة تفريق (١٥) م ويشع نبضة ليست أقل من (٥) مايكروثانية لتحقيق معدل القدرة المطلوب . ولتجديد قدرة تفريق المدىٰ فإن تضمين الموجة الحاملة يجب أن يكون لها عرض نطاق (١٠) ميكاهيرتز ؛ والصيغة العامة لهذا التضمين النبضي ـ البيني يكون خطياً موجة مستمرة ذات تضمين ترددي (RMCW) وفي هذه الحالة فإن التردد الحامل سيزيد ، أو ينقص ، خطياً من البداية إلى نهاية النبضة شكل (٦ ـ ٣٤) .

وكل نبضة مستلمة تكون بنفس الصيغة ، ولكن المستقبلة حاويةُ شبكة انضغاط النبضة تكون متوافقة مع أو « تمييز » التضمين وتضغط النبضة إلىٰ العرض المطلوب وهو (١ , ٠) مايكروثانية . والأنواع الأخرىٰ من التضمين تنتج نفس التأثير بشرط أن يكون لها عرض النطاق الضروري ولكن النوع الآخر المستخدم هو التضمين للطور المجفر . وقد تنشأ الصعوبة في انضغاط النبضة إذا كانت هناك إزاحة تردد دوبلر على إشارة الهدف المنعكسة ؛ مع ذلك ،



شكل (٦ - ٣٤) انضغاط النبضة

يشترط أن عرض النطاق الترددي للتضمين أكبر بكثير من إزاحة دوبلر فإن التأثيرات لن تكون خطيرة .

١٤ - استخدام الأمواج الملمترية :

وهي أمواج ذات طول موجي قصير جداً تحتاج هوائيات أكثر صغراً لتوليد حزمة ضيقة وبالتالي تعطي قدرة تفريق زاوي جيدة . على سبيل المثال ، حزمة إسطوانية (١٠ مِلْ) بتردد (٩٤) كيكاهيرتز تتطلب قطع مكافيء بقطر (١٥) إنج فقط ، بينما في التردد الراوي الأعتيادي (٤و٩) كيكاهيرتز فإن القطع المكافىء يكون بقطر (١٢,٥) قدم .

والاعتراضات المبدئية على استخدام الأمواج الملمترية هي التوهين الجوي في الجو ، ونقص مصادر القدرة العالية المناسبة . وتفيد رادارات الموجة الملمترية من « النوافذ » الجوية في الرسم البيان للتوهين الجوي . مثلاً عند تردد (٣٥) كيكاهيرتز (٨ ملم) ، (٩٤) كيكاهيرتز (٣,٢ ملم) ، وربما التردد (١٤٠) كيكاهيرتز (٢,١٥) ملم . ومع ذلك فإن التوهين لا يزال عالياً ، بعامل مقداره (٦) على مدىً (١٠) كم يتردد (٩٤) كيكاهيرتز ، رغم أنه ليس عالياً بحيث يستحيل عمله في الطقس الصافي . وعبر نفس المسافة وفي المطر

المعتدل ، فإن العامل المذكور يصبح (١٠٠,٠٠٠) مبيناً بوضوح تحـديدات الأمواج الملمترية .

ورغم ذلك فهناك تطبيقات عملية لرادار المـوجة الملمتـرية في مـراقبة الأهداف السطحية عالية الوضوح وقصيرة المدىٰ ، وفي أجهزة الإنذار الخاصة بالاختراق وفي رادارات الدفاع الجوي للإسناد القريب . وقدرة التفريق العالية الممكنة في الأمواج الملمترية يجعلها مناسبة لرادارات رسم الخرائط الأرضية ؛ ورادار المراقبة المتنقل في أرض المطار أيضاً يصور شكل الطائرة ، رغم أنه من غيـر الممكن ، لحد الآن ، تحـديد هـويـة الخط الجـوي . وتقـدم الأمـواج الملمترية أيضاً حرية نسبية للإجراءات الإلكترونية المضادة ؛ وتحاول أجهـزة التشويش أن تغطي أوسع نطاق من الترددات مما تغطيه في الأطوال الموجيـة الطويلة ، إضافة لذلك يتم توقيفها بواسطة عجز المصادر المناسبة . ومع ذلك ، وكما في كل القضايا المتصلة بالحرب الإلكترونية ، من الخطأ اعتبارها مُرضية وتفي بالغرض المطلوب .

والتطبيق الممكن المختلف الآخر للأمواج الملمتـرية هـو في « الرادار السلبي » . وهذا يعتمد علىٰ مقارنة الإنبعاث الحراري للهدف مع خلفيته ؛ وهو المكافىء اللاسلكي للتصوير الحراري .ولسوء الحظ فإن الإشعاع الحراري في مثل هذه الأطوال الموجية الطويلة قليل جداً منها في نطاق الأشعة دون الحمراء (بمقدار ١٠٠,٠٠٠) ومن الصعب جداً كشف الفرق . رغم ذلك يتم كشف الطائرة عند بضعة الخلفية الأكثر حرارة للنبات . وهذا يبشر بتقنية جديدة ولكن التقدم يعتمد علىٰ تطوير حساسية المستقبل السلبي ، أو جهاز قياس الإشعاع (الراديوميتر) .

الهوامش

(١) هوائي مربع قاطع تمام :

هو الهوائي الذي يكون شكله مربع قاطع تمام ويعطي حزمة تتغير سعتها مع قاطع تام تربيع لزاوية الإنخفاض تحت الخط الأفقي .

(٢) سدادة الجوف :

آلة تستخدم لوضع محور جوف المدفع مع نقطة التصويب على استقامة واحدة .



« الفصل السابع »

المراقبة بالعمق

١ ـ المراقبة بالعمق :

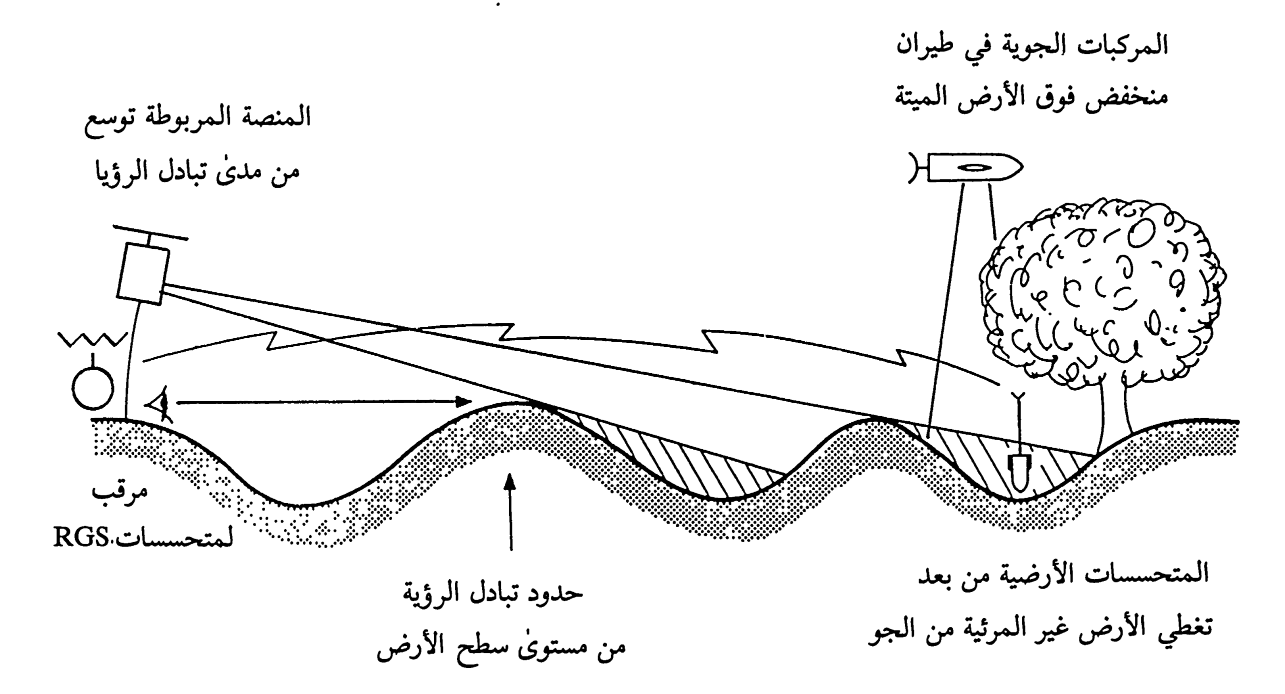
« لقد قضيت كل حياتي في محاولة تخمين ماذا يكمن مقابل الجانب الآخر من التل » .

(دوق ولينكتون)

لعدة قرون مضت كان قائد المعركة منشغلاً بالحوادث خلف حدود رؤيته . وحتىٰ في عصر المسكيت musket (بندقية قديمة الطراز خاصة بجند المشاة) والسيف فإنه بحاجة إلىٰ معرفة تقرب قوات العدو ، وقوته وتنظيماته . وبدون هذه المعلومات الحيوية فإن قابليته على المقاومة بفاعلية ضد التهديد ستقل بشكل خطير .

ويمتلك قائد المعركة الحديثة منظومات أسلحة ذات مدىٰ كبير وقدرة نارية كبيرة أكثر مما وُجِدَت لدىٰ أسلافه . وقد اتسعت منطقة النفوذ للجيوش الحديثة على ساحة المعركة كثيراً خلف خط النظر بواسطة هذه الأسلحة . ويحتاج القائد إلى وسائل لكشف وتحديد هوية تركيب قوات العدو في المدىٰ البعيد لكي يمتلك ـ إذا أمكنه ذلك ـ إستخدام مثل هذه الأسلحة ذات المديات الطويلة لقواته . ويدور هذا الفصل حول هذه المنظومات التي تقدم للقائد قابلية المراقبة وتحصيل الهدف . .

ومنظومات المـراقبة ذات قـدرة التفريق العـالية التي تستخـدم التقنيات الإلكترونية والإلكتروبصرية المتقدمة قد أعطت الجيوش الحديثة قابلية المراقبة في كـل الأحوال الجـوية على مـدار (٢٤) سـاعـة وأكـدت هـذه التـطورات التحديدات المفروضة على المراقبة بالعمق بسبب تقوس الأرض ، والتضاريس الأرضية ، والنبات الطبيعي والموانع الاصطناعية . وفي شمال غرب أوروبا ، على سبيل المثال ، يكون معدل التحديد للرؤية (عدم أخذ الحالات الجوية بالحسبان) حوالي (٤) أو (٥) كم . لذلك فإن الوسائل الوحيدة لتوسيع مدىٰ منظومات المراقبة هي بِرَفْعِ المتحسسات فوق الأرض أو انفتاحها بالأمام في إقليم العدو شكلِ (٧ ـ ١) .



شكل (٧ ـ ١) متحسسات المراقبة

إن استخـدام الأرض العاليـة تم التعرف عليـه كوسيلة لـلإشراف على العـدو . وفي الأزمان المبكـرة تمَّ إنشاء « الحِصن » علىٰ الأراضي المـرتفعة لتغطية المسالك والمقتربات الرئيسية . ورغم أن جهد المراقبة الجوية قد تم إدراكـه لعدة قـرون خلت ، إلا أنه لم يستخـدم لأول مرة إلا بعد أن استخدم

الفرنسيون بالون الهواء الحراري في معركة Fleurus في عام ١٧٩٤ كمرصد جوي . وبالونات الرصد الرياضية استخدمت بشكل واسع في الحرب العالمية الأولىٰ ولكنها أصبحت واهنة أكثر مما ينبغي تجاه نشاط العدو إلا أن تطوير الطائرة بشّر بولادة الاستطلاع الجوي كما نعرفة اليوم . وبقيت الطائرة المأهولة (التي يقودها إنسان) المنصة الرئيسية لمتحسسات المراقبة الجوية إلى حين الحرب العالمية الثانية . من ناحية ثانية ، فإن الزيادة في فعالية منظومات الدفاع الجوي نتيجة حلول منظومات السيطرة على الرمي والصواريخ والكلفة العالية المتزايدة باستمرار للطائرة المعقدة المأهولة قد أدىٰ إلى تنوع تقنيات المراقبة . والأكثر من ذلك ، فإن اختراق الفضاء في الخمسينيات جعل مراقبة سطح الأرض من الأقمار الصناعية المدارية شيئاً ممكناً .

٢ - المراقبة من الفضاء :

منذ أن أدخل الإنسان لأول مرة القمر الصناعي في مدار حول الأرض ، فإن الرصد العلمي والعسكري لسطح الأرض والغلاف الجوي قد أصبح شيئاً مألوفاً . وتطور العدسات الفوتوغرافية القادرة علىٰ كشف الأجسام التي لها حجم أقل من متر واحد عند ارتفاعات الأقمار الصناعية في مدار حول الأرض ، قد أعطت الدول التي تطلقها قابلية مراقبة غير متكافئة على أكثر سطح الأرض . واستخدام المتحسسات دون الحمراء بشكل خاص قد أعانت على كشف الأنشطة ذات الأهمية العسكرية مثل إطلاق الصواريخ وتفجير المواد المتفجرة . إن واحدة من المزايا العظيمة للمراقبة من الفضاء هي إزاحة الطريق المؤكد من الاستطلاع الستراتيجي بواسطة الطائرة نوع (u_2) التي كانت في الماضي موضوع خلاف سياسي دولي . وفي الواقع فإن مراقبة الفعاليات العسكرية من الأقمار الصناعية المدارية أصبح من الوسائل المميزة للسيطرة علىٰ التسلح بين القوىٰ العظمىٰ . من ناحية ثانية ، فإن استخدام الفضاء للمراقبة التعبوية لساحة المعركة يعتبر لحد الآن غير مُجْدٍ إقتصادياً ، كتوفر المنظومات الأخرىٰ . إن كلفة إدخال الأقمار الصناعية في المدار محرَّم والقذائف المدارية المنخفضة

المطلوبة لحالات المراقبة التالية تتضمن عمراً قصيراً نسبياً للقمـر الصناعي . وأكثر من ذلك ، التغطية الأرضية لأقمار المراقبة تكون محدودة وإن جزءاً كبيراً من مدارها بدون فائدة في التطبيقات التعبوية ، وحتىٰ عند استخدام متحسسات الأشعة دون الحمراء ، فإن الأقمار الصناعية تكون غير فعالة بشكل كبير عندما تكون الحالات الجوية رديئة جداً ، مع ذلك تنطلق الأقمار الصناعية من قبل القوىٰ العظمىٰ للمراقبة التعبوية لأغراض المراقبة خلال الحروب المحدودة في الشـرق الأوسط . ووظيفتها للمـراقبـة في العمق يجب أن تتميـز ، وكـذلـك تحديداتها وكلفها .

٢ ـ المتحسسات المرتفعة :

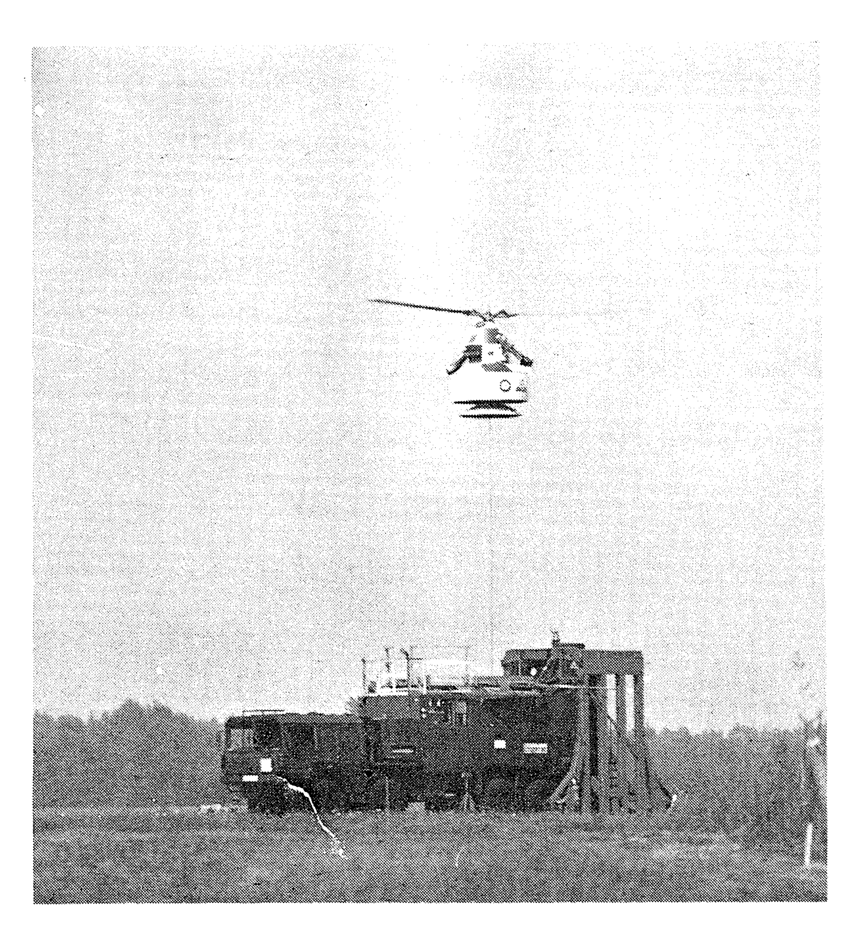
ستكون بقية هذا الفصل مكرسة لفحص استخدام منظومات المراقبة علىٰ الأرض أو ضمن الغلاف الجوي .

لقد تمت محاولة عدة طرق منذ أيام الرصد البالوني ، لرفع المتحسسات فوق الأرض للحصول علىٰ أفضل زاوية نظر . فمثلاً ، تحت محاولة المناطيد ، ولكن عدم استقرارها الداخلي ، واعتمادها علىٰ تقلب سـرعة واتجـاه الريـح وحمولتها الصافية المحدودة جعلها غير واردة كمنصة تحسس تفي بالغرض .

ورادار مراقبة الدفاع الجوي السويدي GIRAFFE بمدىٰ ٢٠ ـ ٤٠ كم له هوائي مركب على سارية مطوية بارتفاع (١٢ م) بالإضافـة إلى أنها تـزيد من مداه ، فإنها أيضاً تسمح بالانفتاح في المناطق المشجرة .

أ . المنصات المربوطة :

أنتجت شركة Dronier الألمانية الغربية KIEBITZ شكل (٧ ـ ٢) وهي منصة مربوطة ذات قدرة دوَّارة حيث يمكن تركيب متحسسات متنوعة ، متضمنة رادار المـراقبة ARGUS الألمـاني الفرنسي ، وتلفـزيون الإضـاءة المنخفضة (LLTV) والأشعـة دون الحمـراء ووسـائـل الحـرب الإلكتـرونيـة . ويـطالب المصنعون بتجاوز معضلة استقرارية المتحسسات ، ويمكن للمنصة أن تطير في



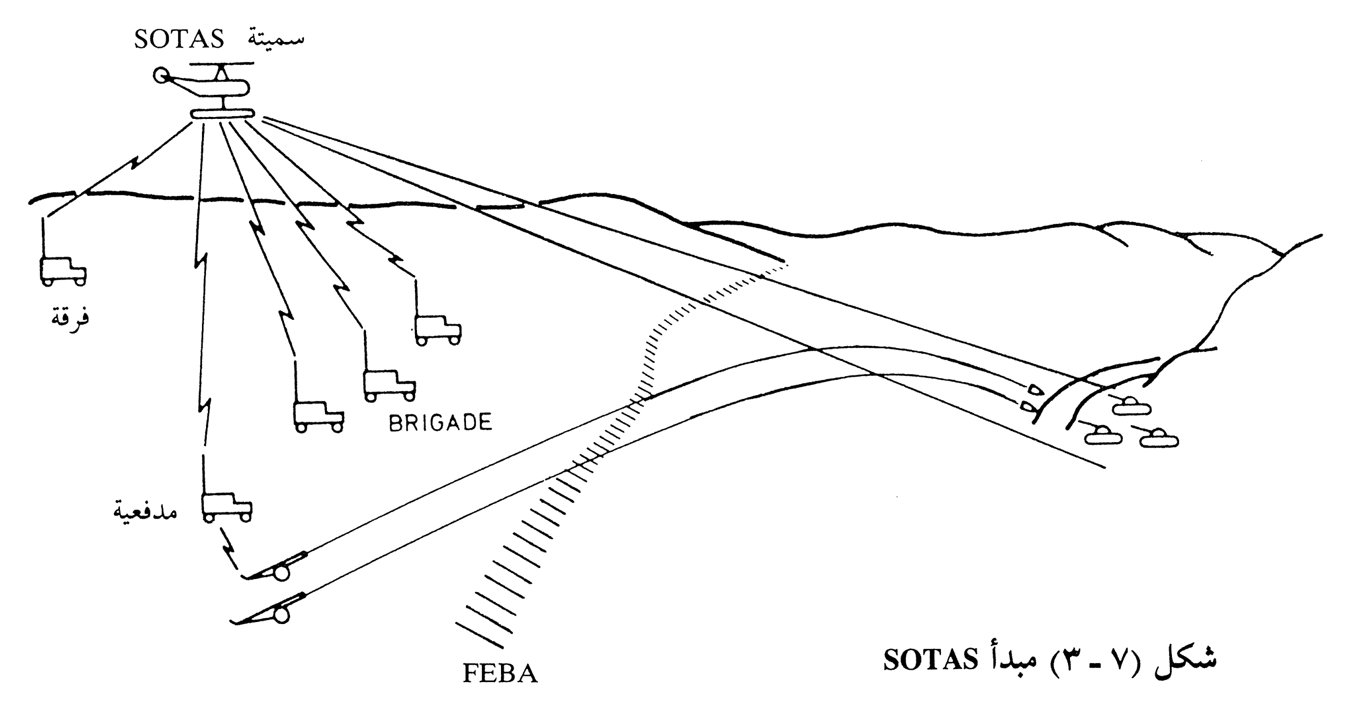
شكل (٧ ـ ٢) KIEBITZ

الرياح الهادئة بسرعة (١٥) م/ثـانية . ولمنصـة KIEBITZ طاقـة مؤثرة حيث يجهز الوقود إلى محرك التورباني الغازي خلال كيبل الربط والذي يستخدم أيضاً لإرسال إشارات السيطرة والمراقبة والمتحسس . ويدور الجزء الدوار الذي قطره (٨) متر بواسطة قذف الهواء المضغوط على أطراف الريشة وتلغي منظومة الدفع النفاث الحاجة إلىٰ الدوامة المساعدة . وتطير المنصة على ارتفاع (٣٠٠) متر حيث تعطي للرادار مدىٰ إلى حد (٥٠) كم اعتماداً على الأرض . وقد طورت نفس الشـركة منصـة دوارة لا تدار آليـاً تدعىٰ SPAHPLATTFORM بقـطر (١,٢) متر ، مركبة علىٰ عجلة وتستخدم محرك العجلة لتعجيل الجزء الدوار إلىٰ سرعة عالية علىٰ الأرض . وتمثل الخلفية المحيطة بالجزء الدوار كمخزن للطاقة وتعطي الجهاز ثباتاً لدقيقة واحدة خلال حمله المتحسسات البصرية أو الإلكتـروبصريـة إلىٰ ارتفاع (١٠٠) متـر . ويثبت هـذا الجهـاز بشكـل حسن

لاستخدامه في العجلات المدرعة المنفتحة بالقرب من الحافة الأمامية لمنطقة المعركة FEBA للمراقبة المحدودة في العمق .

ب . المنظومات طويلة المدىٰ المحمولة جواً :

من المناسب الإشارة إلىٰ منظومتي مراقبة مركبتين على طائرة مصممتان للعمل علىٰ الجانب القريب من الحافة الأمامية لمنطقة المعركة . الأولىٰ مشهورة وهي منظومة السيطرة والإنذار المحمولة جواً (الأواكس AWACS) المنفتحة في كل من قوات حلفي وارشو والناتو لغرض كشف الأهداف الجوية كإنذار مبكر لمنظومات الدفاع الجوي . وتتألف الأواكس من رادارات دوبلر النبضية ذات قدرة عالية مثبتة على طائرة تطير بارتفاع (١٠,٠٠٠) متر تقريباً وقادرة علىٰ كشف الأهداف المحمولة جواً نزولاً إلى مستوىٰ الأرض وبمديات تصل إلىٰ (٥٠٠) كم . وهذا النوع من الرادار له سعة محدودة لكشف الأهداف الأرضية المتحركة ، والسفن العائمة . وكان هذا المبدأ قد استخدم في المنظومة الأمريكية لتحصيل الهدف من بعد (SOTAS) والتي ، إلى حين إلغائها في عام ١٩٨١ ، كانت تحت التطوير لاستخدامها على مستوىٰ الفرقة للمراقبة في العمق وتحصيل الأهداف شكل (٧ ـ ٣) .



شكل (٧ ـ ٣) مبدأ SOTAS

وتتألف منظومة المراقبة وتحصيل الهدف من بعد ، من طائرات عمودية تحمل رادارات طويلة المدىٰ ، وتطير خارج مدىٰ منظومات الدفاع المعادية في الجانب القريب من الحافة الأمامية لمنطقة المعركة . وتعمـل الرادارات على مسح قطاع أو خلال (٣٦٠) درجة وتكشف الأهداف المتحركة خلف الحافـة الأمامية لخط المعركة (FEBA) عند مديات تقدر ٥٠ ~ ٨٠ كم من الطائرة . وتُرسل صورة الهدف عبر وصلة بيانات إلىٰ المحطات الأرضيـة التي تقع في مقرّات القيادة للغرفة ، والمدفعية واللواء . حيث تعرض المعلومات علىٰ خريطة وبالوقت الحقيقي . هذا النوع من المنظومة يكون مثالياً للمراقبة العامة لمنطقة نفـوذ الفرقـة للسماح بتحصيـل الأهداف للمـدفعية بعيـدة المدىٰ ولـلأسلحة المحمولة جواً . وقد تستخـدم أيضاً بـالارتباط مـع منظومـات أخرىٰ لمـراقبة وتحصيل الهدف وبقـدرة تفريق راداري أفضـل لغرض تمييـز وتعريف طبيعـة الهدف .

إلى هذا الحد من الفصل ، تم إلغاء نظرة على المنظومات الأرضية بعيدة المدىٰ لمراقبة وتحصيل الهدف ، المرفوعة أو الحركية على العجلات الجوية المنفتحة على الجانب القريب من الحافـة الأماميـة لساحـة المعركـة . وهذا يجعلها واهنة نسبياً تجاه نشاط العدو ولكن قدرة تفريقها الراداري غالباً ما تكون غير دقيقة بما فيه الكفاية عند المديات الطويلة لغرض تمييز وتعريف الأهداف الضرورية لتمييز المشاغلة بـواسطة الأسلحـة بعيدة المـدىٰ . وبالإضـافة إلى تركيب المتحسسات على الطائرة ، فـإن الأهداف يمكن أن تحتجب بـواسطة التضاريس الأرضية والعـوائق الأخرىٰ في المـديات الـطويلة . ولتجاوز هـذه المعضلات فإن الحل الوحيد هو في انفتاح المتحسسات على الأرض أو في المركبات الجوية أمام الحافة الأمامية لساحة المعركة .

٤ ـ الطائرة غير المأهولة :

لقد أصبحت قابلية البقاء علىٰ قيد الحياة واحدة من الاعتبارات الرئيسية في تصميم منظومات المراقبة المنفتحة أمام الحافة الأمامية لساحة المعركة . إن

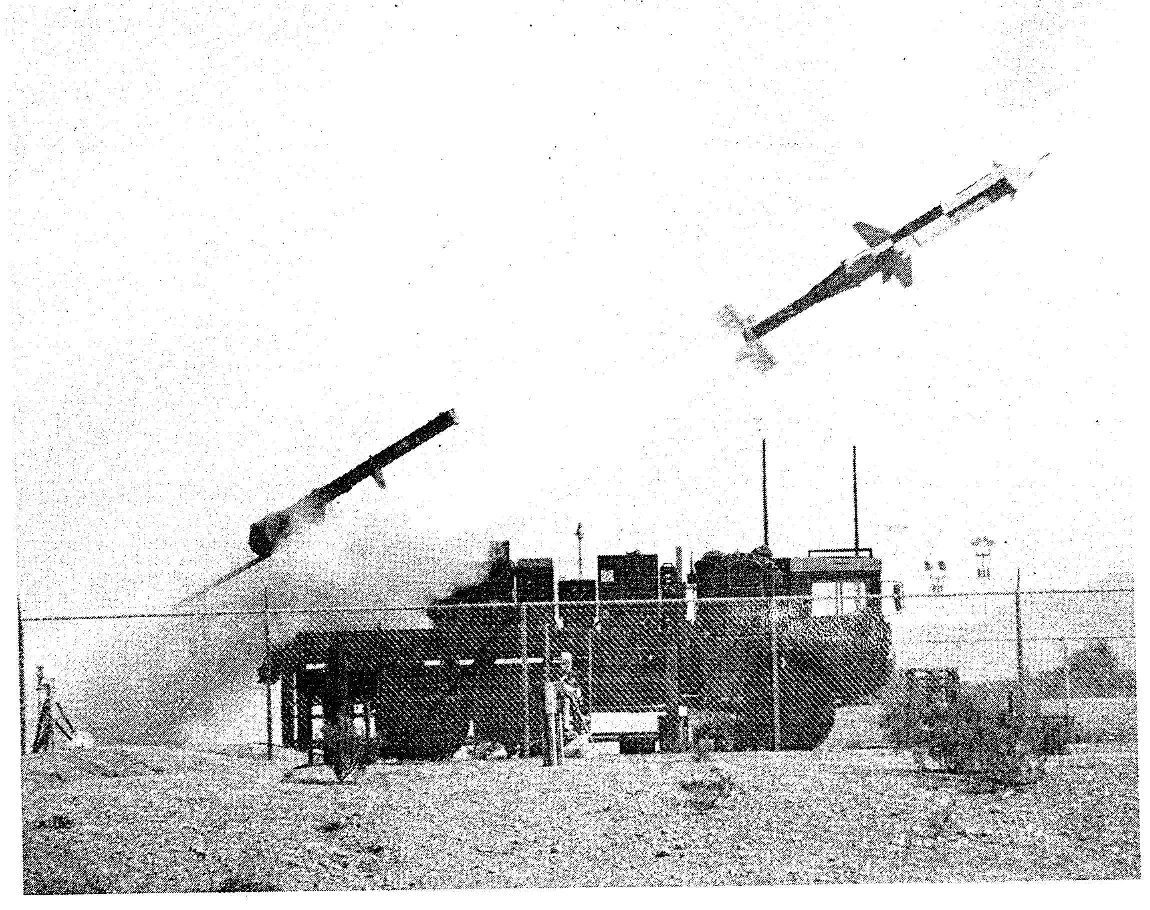
تكاثر منظومات الدفاع الجوي في كل المستويات والكلفة العالية جداً للطائرة التي يقودها الإنسان جعلها واهنة أكثر مما ينبغي لتُسْتخدم كوسائل رئيسية للمراقبة الجوية الأمامية . وتوفر الطائرة غير المأهولة الجواب الأفضل للحاجة إلىٰ استخبارات المعركة في العمق وفي الوقت المناسب . وحيث إنَّ هذه الطائرات تكون تحت السيطرة المباشرة لقائد الجيش ، فهو يستطيع أن يكلف هذه الطائرات بمهام سريعة لتستجيب بشكل فعال وبزمن قصير من مواقع ضمن مناطق الفرقة . وقد أصبح ممكناً في الوقت الحاضر تقليص حجم الطائرة غير المأهولة لجعلها صعبة الكشف والتدمير . ويلعب التصميم بحجم دقيق لمحطات توليد القدرة وإلتكرونيات الطيران وحلول المعالجات الدقيقة دوراً مهماً في تقليص حجم هذه الطائرات .

وتصنَّف الطائرة غير المأهولة إما كطائرة توجه لاسلكياً (drone) تطير على خطوط طيران مبرمجة مسبقاً دونما الحاجة إلى وصلة مواصلات مع الأرض ـ (رغم أن بعض المنظومات تستخدم وصلة بيانات لأجهزة التحسس بالوقت الحقيقي) ـ أو مركبات مسيرة من بعد (RpVs) ويسيطر عليها إما من الأرض أو من طائرة يقودها إنسان عبر وصلة بيانات القيادة .

٥ ـ الطائرات الموجهة لاسلكياً : Drones

تعتبر الـ drone أقل تعقيداً من الـ RpV وتنفتح بشكل واسع في الجيوش الحديثة . والـ drone النموذجية هي نوع Conadair CL 89 وفي الخدمة حالياً في الجيش البريطاني حيث تُعرف بـ AN/USD 501 MIDGE شكل (٧ ـ ٤) .

وتنفتح MIDGE لإسناد تشكيلات الفرق ولتوفير المراقبة بالعمق ما بين (٤٠) و(٦٠) كم اعتماداً على مهمتها . وتبدأ الطلبات الخاصة بمهام الاستطلاع للـ drone فوق مناطق معينة ، من هيئة أركان استخبارات الفرقة وتمرر الأوامر إلىٰ فصيل الـ drone لغرض التخطيط الفوري للطلعة . وتحمل MIDGE إما متحسساً يعمل بالأشعة دون الحمراء أومتحسساً فوتوغرافياً حيث



شكل (٧ ـ ٤) الطائرة الموجهة MIDGE عند إطلاقها

يستخدمان في إتمام تنوع المهام . ويتحقق أسرع زمن رد فعل للمهام الموثقة عندما يُشغل المتحسس لفترة زمنية تكفي للحصول علىٰ تغطية كافية لنقطة معينة ، مثل جسر ، لتأكيد أن المتحسس سليم . ويمكن برمجة الـ drone لإنجاز بحث شريطي بطريق طيران مستقيم بين نقطتين ؛ وكلما كان الشريط أطول كلما كان زمن رد الفعل أطول نتيجة مقدار التفسير المطلوب للفيلم . كما ويمكنها القيام بمهمة استطلاع منطقة بواسطة بحث نظامي على شكل شريط بشريط ، ولكن الـ MIDGE ليست ملائمة بشكل مثالي لهذا النوع من المهام بسبب كتلة المادة الفوتوغرافية المتولدة والتسهيلات المحدودة ضمن العملية الفوتوغرافية وعجلة التفسير .

وفي نهاية المهمة ، يتم توجيه الـ drone إلىٰ منطقة الاستعادة بواسطة

مرشدة التوجيه الآلي وتستعاد بواسطة المظلة . وتنفتح أكياس إخماد الصدمة تحت الـ drone لمنع إصابتها بالضرر عند ارتطامها بالأرض . ومن الحيوي استرجاع الفيلم بأسرع ما يمكن ومعالجته في عجلة التفسير الموجودة في موقع مجاور لمنطقة الاسترجاع . ثم ترسل نتائج المهمة بوسائل سريعة ، وعادة ما تكون وصلة لاسلكية ، إلىٰ هيئة ركن استخبارات الفرقة التي طلبت المهمة .

ويبلغ زمن الاستجابة النموذجي ، والذي يعرف بأنه الزمن منذ بدء طلب المعلومات إلىٰ الزمن الذي تستلم فيه المعلومات ، حوالى ساعة واحدة . وهذا هو زمن الاستجابة السريع . إن القابلية على العمل من مواقع صغيرة غير مهيأة وغير واهنة تجاه الحرب الإلكترونية هي المزايا الرئيسية للـ drone . وأكثر من ذلك ، فإن قائد الفرقة ، من حيث أنه يعتبر المراقبة بالعمق حيوية جداً بالنسبة إليه ، له سيطرة مباشرة عليها . وفي نفس الوقت من المهم معرفة محدودياتها التي تتضمن نصف قطر عمل محدود ، ومسلك الطيران المبرمج مسبقاً والذي لا يمكن تغييره بعد الإطلاق . والزمن المستغرق لجمع الاستخبارات يكون تقريباً ساعة واحدة عند إرسالها إلى مصدرها الأصلي . ومنظومات الـ drone الأخرىٰ مثل ، Canadair Cl 289 (QN/USD 502 تُشرك وصلة بيانات بالزمن الحقيقي لتتجاوز هذا العيب ولكن هذا يرفع من كلفها وتعقيدها ويجعلها واهنة تجاه الإجراءات الإلكترونية المضادة .

وتطلق أغلبية منظومات الـ drone من مزلقة من مواقع إطلاق غير مهيأة في منطقة المعركة . وبعضها يُطلق باستخدام عجلات الهبوط التقليدية من مواقع مهيأة وتطلق واحدة أو اثنتان من الطائرة . وهناك عدة طرق مستخدمة للاسترجاع على الرغم أن المظلة أو الشبكة هما الوسيلتين الأكثر شهرة في عملية الاستعادة .

٦ . المركبات الموجهة من بعد : RPVS

يمكن للـ PRVS تجاوز بعض التحديدات الملازمة للـ dronc وكتعريف فإنها مسيطر عليها من بعد بواسطة « طيار » محمول جداً أو « طيار »

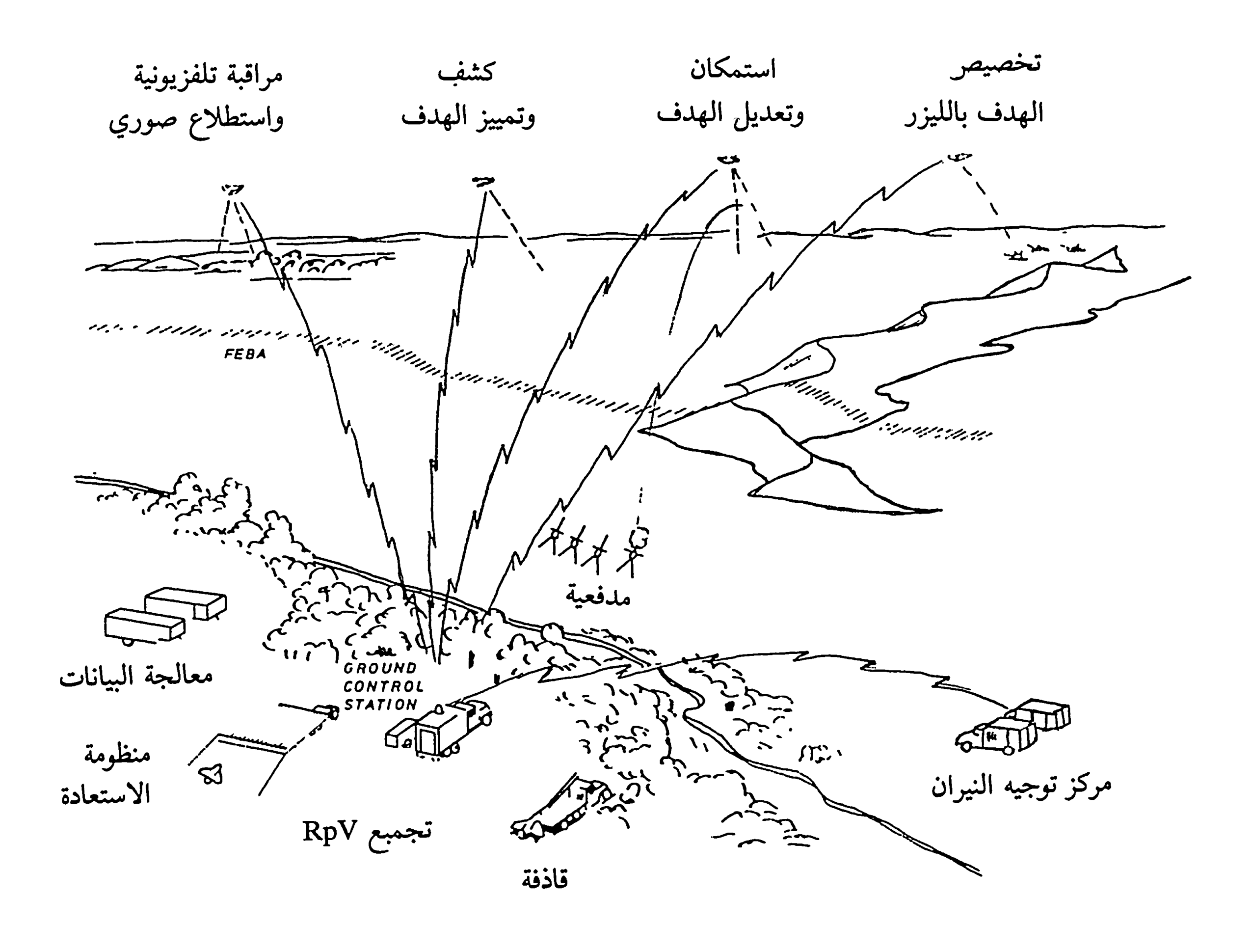
أرضي وبالتالي تكون قادرة علىٰ الإستجابة مع الأوامر خـلال الطيـران كنتيجة للإستخبارات المجمعة من التحسسات الخاصة بها حيث يتم إرسال المعلومات عبر وصلة بيانات وبالوقت الحقيقي .

أ . الوظائف :

بسبب المرونة العالية للـ RpV يمكن استخدامها في وظائف متعددة أكثر من استخدامات الـ drones . وهي تفضل في أعمال المراقبة العامة باستخدام متحسسات ذات قدرة تفريق عالية مثل التلفزيون أو أجهزة التصويـر الحراري (TI) . وأي أهداف محتملة يتم كشفها بواسطة المسيطر في شاشته المرئية ، يمكن البحث عنها إما بواسطة تغيير مجال الرؤية لمتحسس أو بواسطة مناورة الـ RpV إلىٰ وضع أفضل لغرض التحري عنه . وحالما تكشف RpV هدفاً ، يتم تعريفه من قبل المسيطر كهدف مناسب للمشاغلة بواسطة نيران المدفعية ، فإن الـ RpV يمكنها أن تطوف فوق الهدف لتنظيم النيران على الهدف . ولهذا الغرض من الضروري للمتحسس أن يكون له مجال رؤية كبير بما فيه الكفاية لكشف الرمية الأولىٰ للمدفعية والتي ، بسبب منطقة أسا ـة الرمي المباشر عند المديات البعيدة ، قد تسقط ضمن منـطقة مسـاحتها (٤٠٠) أو (٥٠٠) م٢ . وحالما تتم رؤية الرمية الابتدائية فيجب على المسيطر أن يكون قادماً على إعطاء الأوامر لتعديل النيران على الهدف في الرمية الثانية . وعندمـا تناول الـ RpV بصورة مباشرة فوق الهدف فيمكن للمسيطر أن يحصل علىٰ مسقط أفقي للأرض حيث يمكن قياس التصحيحات بدقة عالية . ومـع حلول قذيفـة كانـون ذات الإطلاق الموجهة CLGP (مدفع إطلاق القذيفة الموجهة) فإنه من المـلائم للـ RpV حمل دليل ليزري لإضاءة الهـدف لضمان الإصـابة بـالصلية الأولىٰ بواسطة قذائف مدفعية الإطلاق الموجَّه . ومن الضروري للـ RpV التي تعمل بهذه الوظيفة أن يتم تثبيتها مع منظومة تصوير ذات قدرة تفريق عالية لتعريف واستمكان الأهداف لإضـاءتها بـالليزر . وقـد طورت شـركة لـوكهيد للفضـاء والصواريخ ، RpV مصغـرة للجيش الامريكي مخصصـة لهذا الـدور فقط وللـ RpV منظومة ملاحية تعمل بالقصور الذاتي يمكن برمجتها ، قبل أو خلال

الطيران بإحداثيات نقاط الطريق الذي ستسلكه ـ والذي على سبيل المثال ، قد يتم الحصول عليه من منظومات مراقبة أخرىٰ مثل (SOTAS) ـ وحالما تكون الـ RpV فوق نقطة التأثير يمكن للمشغل أن يحول المتحسس إلى التتبع الطوعي ليتواصل مع الهدف بغض النظر عن حركة الـ RpV . ثم بعد ذلك يمكن إطلاق الليزر في نظام إيجاد المدىٰ ويتم تأشير إحداثيات أي هدف ضمن مجال الرؤية للمتحسس التلفزيوني طوعياً في محطة السيطرة الأرضية . ويمكن أن يعمل الليزر أيضاً في وظيفة التخصيص لاستعماله مع الأعتدة الموجهة من بُعْدٍ مثل CLGP . ويبين الشكل (٧ ـ ٥) مهام نموذجية لمعركة تشترك فيها الـ RpV .

وقد تستخدم الـ RpV أيضاً في الحرب الإلكترونية كمنصة لمعدات



شكل (٧ ـ ٥) مهام ساحة المعركة

الإجراءات الإلكترونية المضادة . وعموماً ، كلما انفتحت هذه الوسائل بالقرب من العدو كلما كانت أكثر فعالية . وتكون الـ RpV مناسبة واقتصادية في هذه الوظيفة لأن قابليتها العالية على البقاء تكون أكثر من الطائرة المأهولة

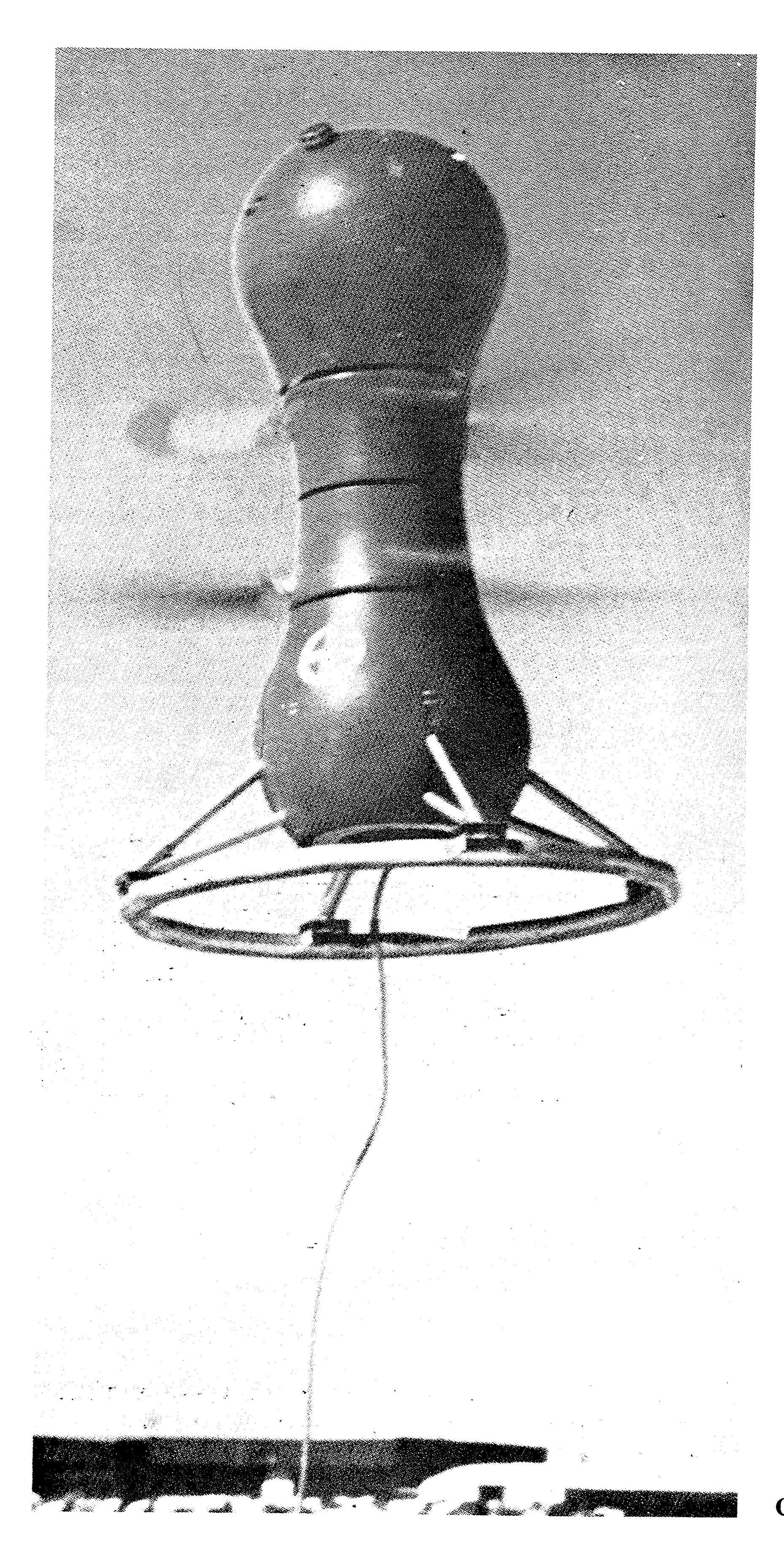
ب . السمتيات الموجهة من بعد : RpH

علىٰ الرغم من أن أغلبية منظومات RpV المطورة تستخدم لحد الآن جناح طائرة ثابت إلا أنه تم إنتاج بضع منظومات من RpH والسمتيات المصغرة . وأغلبية هذه المنظومات عبارة عن مركبات جوية لها أشكال سطحية متماثلة بأجزاء دوَّارة مزدوجة تسمح لها بالطيران في أي إتجاه بدون الحاجة إلىٰ تغيير هياكل هذه المركبات . وتسمح أيضاً لهوائيات وصلة البيانات بأن تبقىٰ موجهة على محطة السيطرة الأرضية كما ويمكن للمتحسسات الموجودة على متنها أن تبقىٰ في نفس الاتجاه . فعلىٰ سبيل المثال يمكن الاحتفاظ باتجاه الشمال عند قمة مبينات التحسس . وهذا صعب التحقيق في الـ RpVs ذات الجناح الثابت . ويمكن إطلاق منظومات RpH واسترجاعها على أي نوع من الأرض وهي ميزة مهمة خاصة في المناطق الأمامية لمنطقة المعركة . ومع ذلك فإن السمتية أقل فعالية من الطائرة ذات الجناح الثابت ، كما أن سرعتها وقابليتها علىٰ البقاء ليستا جيدتين .

والطائرة Canadaiı CL 227 مثال على الـ RpH شكل (٧ ـ ٦) والتي تشبه دميلات عمودية مع ثلاث ريش مزدوجة دوارة في المقطع الداخلي . وتضم الكرة العليا المحرك وتجهيز الوقود ، وتضم الكرة السفلىٰ المتحسسات .

جـ . وصلة البيانات :

إن واحدة من الصعوبات التشغيلية الرئيسية للـ RpV هي المحافظة علىٰ خط النظر غير المحجوب بين هوائي وصلة البيانات الخاص بها وبين محطة السيطرة . وكلما كان تردد هذه الوصلة عالياً كانت الحاجة أكثر حراجة للطريق غير المحجوب بينهما . واختيار التردد محكوم بكمية المعلومات المطلوب حملها من قبل الوصلة . وتتطلب المتحسسات التلفزيونية والتصوير الحراري

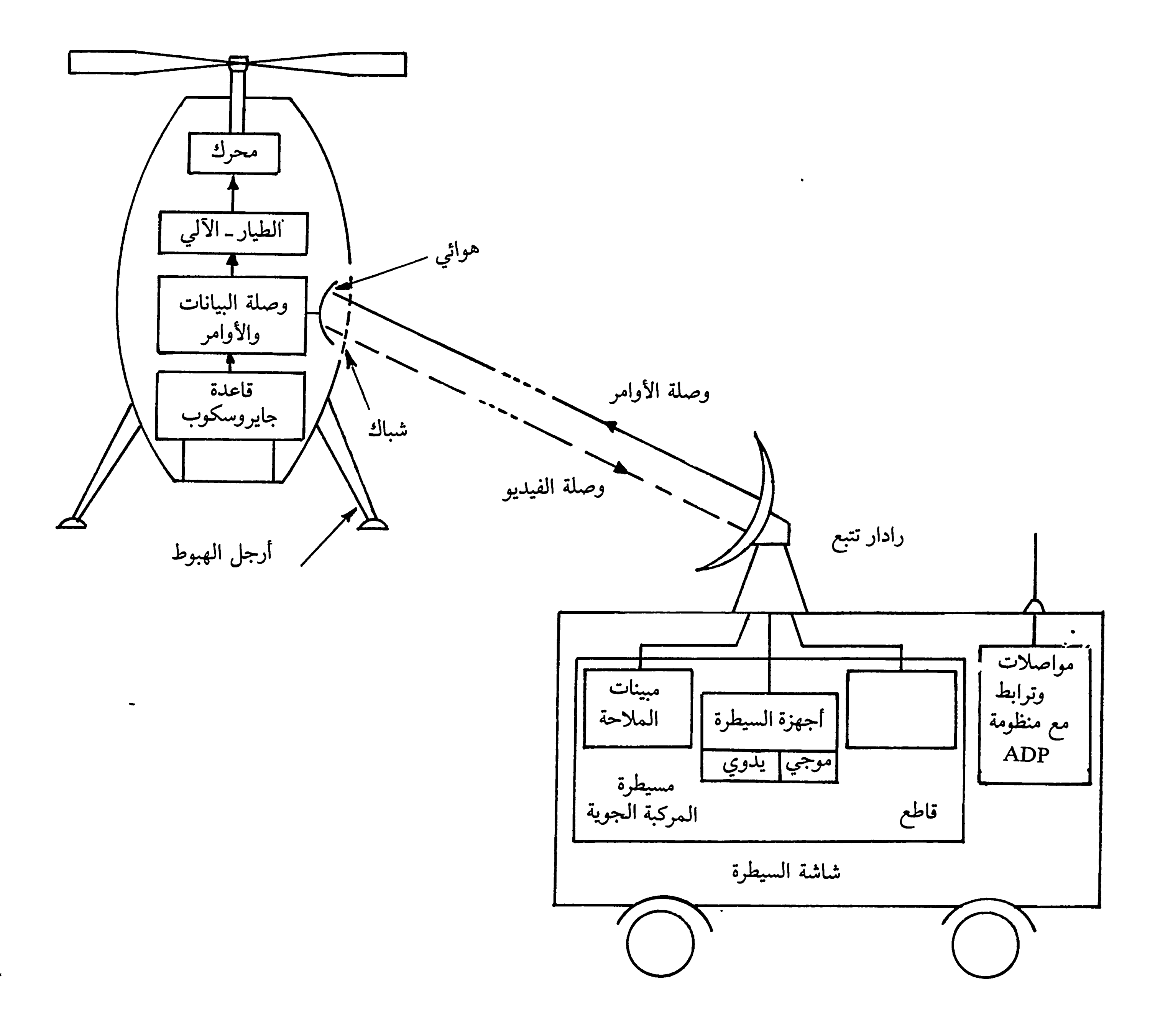


شكل (٧ - ٦)
الطائرة السمتية
Canadair CL 227

وصلة ذات نطاق ترددي عريض أو معدل معلومات عالٍ ، وبالتالي تردداً أعلىٰ من المسح الخطي للأشعة دون الحمراء (IRLS) أو التي تستخدم مبين الأهداف المتحركة (MTI) . ومن الواضح أن أدنىٰ تردد ممكن لكي يتجانس مع معدل البيانات المطلوب يجب أن يتم اختياره لتقليل هذه المعضلة . والفقدان العرضي للوصلة لا يؤدي بالضرورة إلى فقدان الـ RpV ، حيث يمكن برمجة منظومتها الملاحية لبدء عمل الطوارىء في آخر الأمر ، مثلاً بإرجاعها إلى النقطة التي فقد الاتصال عندها أو بزيادة ارتفاعها . أما الفقدان المتعمد للوصلة فقد يكون مطلوباً عملياتياً في المهمة المبرمجة مسبقاً رغم أن فقدان معلومات المتحسس في الزمن الحقيقي هو عيب واضح . ومن المهم تعريف دور الـ RpV بوضوح ، ويتم حمل المتحسسات المطلوبة فقط لمواجهة هذا الدور . ويوضح الشكل (٧ ـ ٧) العناصر الأساسية للـ RpH ومحطة السيطرة .

د . الكُلف :

من المهم أن تبقىٰ كلفة منظومة (RpV) في حالة مقارنة مع كلفة الطائرة المأهولة وأن تعتمد بشكل كبير على هذه النسبة المالية . وبواسطة الطبيعة الفعلية لوظائف الـ RpVs ، وعلى الرغم من حصانتها النسبية ، فإن معدلات الفقدان ستكون أعلى من الحد المسموح به للطائرة المأهولة . ولذلك فإذا كانت كلفة الـ (RpV) أعلىٰ من نسبة معينة لطائرة مأهولة مكافئة ، فإن مصداقيتها ستكون موضع شك . إن كلفة إنتاج هيكل أساسي للمركبة تتناسب تقريباً مع الوزن ، لذلك فإن كلفة هيكل الطائرة يجب أن يكون مقبولاً . إن كلف المحركات ، والكترونيات الطائرة والمتحسسات يجب أن تبقىٰ منخفضة ومن المهم أن تكون هذه الأجهزة المطلوبة موجودة فقط لتلائم تعريف المتطلبات التشغيلية للـ (RpV) . وعلى العكس من ذلك فمن الحيوي أن يكون مستخدم المنظومة مدركاً للتضمينات التقنية والمالية في تعريف القابليات المطلوبة .



شكل (٧ ـ ٧) العناصر الأساسية للـ RPH ومحطة السيطرة

٧ ـ المنظومات الأرضية العاملة من بعد :

أ . الحاجة :

إلى هذا الحد أخذنا نظرة عن منظومات المراقبة وتحصيل الهدف مع بعض التحديدات علىٰ قابليتها للبقاء (٢٤) ساعة في مراقبة ساحة المعركة

إستناداً إلىٰ الحجابات الأرضية والنبات أو الحالات الجوية الرديئة . ولتقليص هذه الفجوة فعلىٰ القائد أن ينفتح بقطعاته بالقرب ، وحتىٰ خلف الحافة الأمامية لمنطقة المعركة . وبمساعدة مكثفات الصورة ، فإن أجهزة التصوير الحراري ورادارات ساحة المعركة ، ودوريات الاختراق بالعمق والأمام ، يمكنها أن تبقىٰ في حالة مراقبة (٢٤) ساعة فوق المناطق التي لا تصلها وسائل المراقبة الأخرىٰ ، وخاصة تلك الموجودة في الأرض الميتة أو المحجوبة بالنبات الطبيعي . من ناحية ثانية فإن هذه الدوريات تمتص القدرة البشرية والتي غالباً لا تتاح بسهولة مما يستوجب إيجاد وسائل أخرىٰ لتغطية الفجوات . والمتحسسات الأرضية من بعد (RGS) تكون مثالية لهذه الوظيفة .

ب . المتحسسات الأرضية من بُعْد :

تستخدم أجهزة الإنذار بالاختراق المستندة إلى المتحسسات الزلزالية ومتحسسات الأشعة دون الحمراء في عدة جيوش . ولها وظيفة مفيدة في الحماية القريبة للقطعات والمنشآت وذلك بالإنذار عن تقرب الأشخاص أو المركبات . إن كاشفات الزلزال التي تدفن في الأرض أو متحسسات الأشعة دون الحمراء ، تربط إلى أجهزة مراقبة الكيبلات أو الأسلاك القصيرة . من ناحية أخرىٰ استثمر الأمريكان لأول مرة في نهاية السبتينيات في فيتنام ، إمكانات المتحسسات الموضوعة عن بُعد لنقل المعلومات إلىٰ أجهزة المراقبة عبر وصلات لاسلكية . وتتكون مسالك التجهيز على طول ممرات « هوشي مِنه » من شبكة واسعة من طرق سرية خلال نباتات كثيفة لا يمكن كشفها من الجو . ولغرض مراقبة النشاط المعادي على طول هذه الممرات ، فإن الأمريكان طوروا متحسسات تدفن يدوياً أو منفتحة في الجو والتي عند كشفها وجود أشخاص أو مركبات ، ترسل إشارات عبر وصلات لاسلكية إلىٰ أجهزة المراقبة الموجودة إما على الأرض أو في طائرة الدورية ؛ أو متحسسات مغناطيسية تدفن يدوياً وكلاهما قادر على تحديد اتجاه حركة الهدف من طريق انفتاح متحسسيّن يوضعان عن بعضهما بمسافة (٥) أمتار .

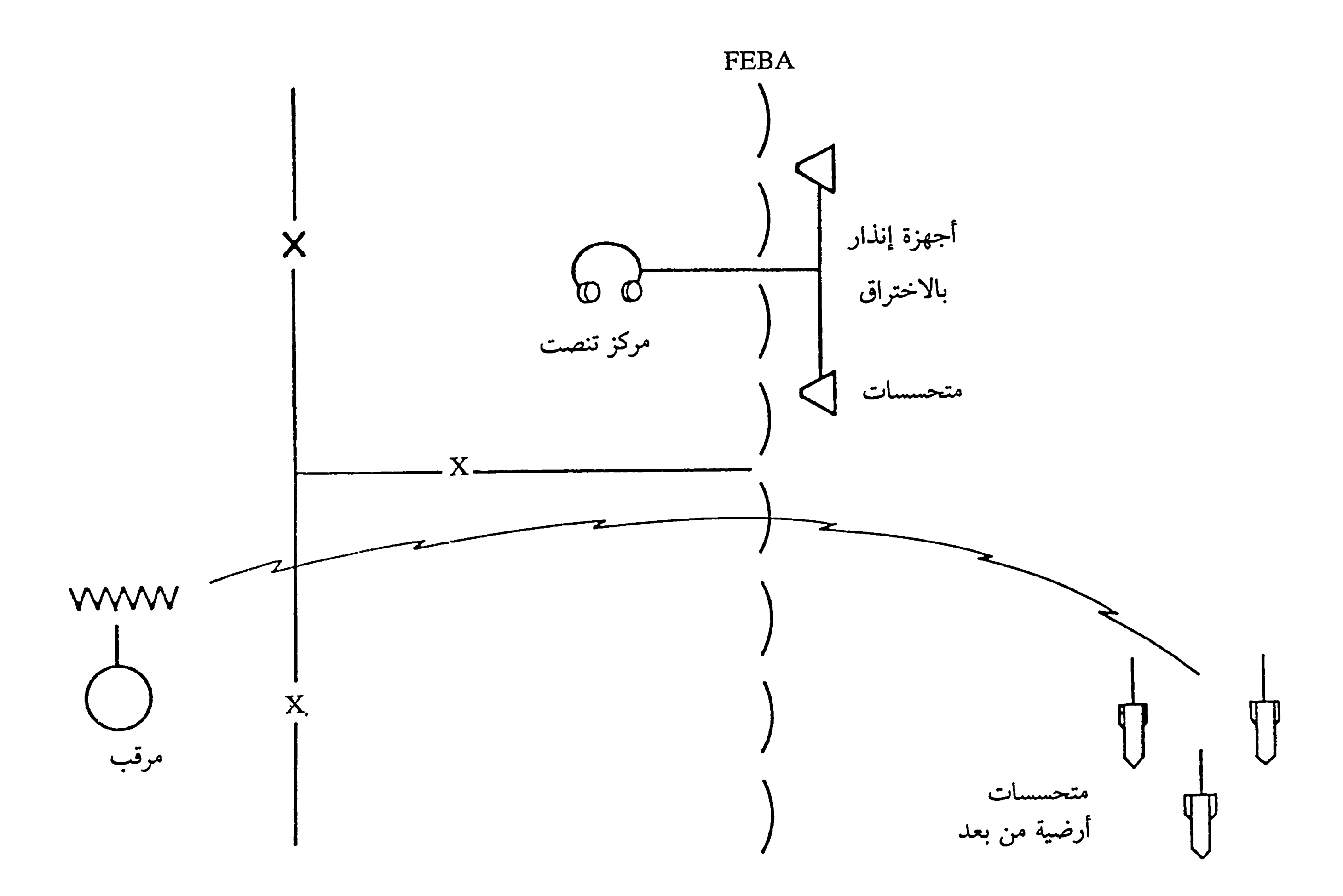
جـ . ربطات المواصلات :

لغرض إنجاز المراقبة بالعمق باستخدام منظومات (RGS) ، من المهم انفتاح معيدات البث لترحيل إشارات المتحسس إلىٰ أجهزة المراقبة الموجودة على الأرض الصديقة .

وعلى سبيل المثال تتضمن REMBASS معيدات بث يمكن وضعها يدوياً أو تستلم من الجو . والأخيرة لها هوائيات مدفونة في الأرض أو في شكل آخر هوائيات مصممة لتعليقها على الأشحار للحصور علىٰ مدىٰ أكبر .

د . المراقِب : Monitors

والجزء الثالث من منظومة (RGS) هـو المِرقب monitor الـذي يستلم الإشارة مباشرة من جهاز التحسس أو عبر معيدات البث . وتتم معالجة الإشارات وعرضها لتبين أي متحسس قام بكشف الحركة ، وطبيعة الهدف ومتىٰ وكم عدد ما سجل منها في أي فترة زمنية . ويمكن عرض البيانات الكترونياً ، وفي نفس الوقت طبعها لغرض تسجيلها بشكل دائمي . ويمكنٰ لمنظومات الإنذار أن تنبه المشغل عند استلام المعلومات . وواضح أن منظومة (RGS) يمكن تصميمها لإظهار المعلومات بطرق مختلفة . كما أن فعاليتهـا تتحسن بالتـأكيد بـواسطة الخـطوات الحـديثـة في معـالجـة الإشـارة وتصغيـر العنـاصـر . وعلى وجـه الخصوص ، فإن استخدام المعالجات الدقيقة المبرمجة لتمييز نماذج الهدف يساعد في زيادة الفعالية ويقلل من الإنذارات الكاذبة . مع ذلك ، فإن فعالية المنظومة يجب أن تعتمد أيضاً على الاستقرار الحذر للمتحسسات للمساعدة في كشف تركيب قوات العدو في العمق ، أو تقربها نحو الواقع المحصنة . وبينما يكون التمييز المحدود للأهداف ممكناً باستخدام منظومات RGS فإنها مطلوبة بشكل أكثر كوسيلة إنذار لتحفيـز انفتاح منـظومات أخـرىٰ للمراقبـة وتحصيل الهدف مع وسائل تعريف طبيعة التهـديد . ويـوضح الشكـل (٧ ـ ٨) تصميم تخطيطي لمنظومة RGS .



شكل (٧ ـ ٨) مخطط لمنظومة RGS

٨ ـ الخلاصة :

يتاح حالياً مدىً واسع من منظومات المراقبة وتحصيل الهدف لتعطي قائد المعركة الحديثة قابلية واسعة للكشف والتمييز وتعريف الأهداف بالعمق . ومع الانفتاح المحترس لهذه الموارد فبإمكانه الحفاظ علىٰ مراقبة العدو (٢٤) ساعة وفي كافة الظروف الجوية تقريباً ليكون رد فعله مبكراً تجاه القوات التي تواجهه . والتقدم الحديث في التقنية قد حسن من الأداء وقلل حجم هذه المنظومات ومن المحتمل أن يشهد العقد القادم تقدماً سريعاً في تقنيات المراقبة ، خاصة في استخدام المنظومات المحمولة جواً والـ (RpVs) التي تطلق من بُعْد .

« الفصل الثامن »

المراقبة المضادة

١ ـ المبادىء العامة :

إن المـراقبة المضـادة الموجهـة ضد وسـائل المـراقبة للعـدو لها غـرضـان : مـراقبة مضـادة سالبـة تهدف إلىٰ إحبـاط محاولات العـدو لاستخدام معـداته للحصول علىٰ معلومات عن نشاطات خصمه الترتيبية والتعبوية ؛ ومراقبة مضادة موجبة تبحث لحقن معلومات كاذبة في وسائل مراقبة العدو ، بحيث يدفع إلىٰ استنتاجات خاطئة تخص نشاطات عدوه ويقوده إلىٰ كارثة تعبوية .

وفي هذا الفصل سيكـون هناك تبـاين كبير في الفعـل والفعل المضـاد لجانبين متضادين . وسيوضح هذا الفصل كيف تستخدم المنطقة الحمراء Red Land وسـائل المـراقبة ، والمنـطقـة الـزرقـاء Blue Land أسلوب المـراقبـة المضادة . وسيستمر هذا التقليد خلال هذا الفصل .

وإذا كانت المنطقة الزرقاء تؤدي مراقبة مضادة فعالة (CS) ضد المنطقة الحمراء ، فإن أولىٰ متطلباتها ستكون وجود إستخبارات فعـالة لمعـرفة نـطاق الوسائل المستخدمة من قبل المنطقة الحمراء ، والحصول إذا أمكن ذلك على تفاصيل المعدات التي من المحتمل استخدامها ضدها . وفي غياب مثل هذه الاستخبارات ، فإن علىٰ المنطقة الزرقاء أن تفترض على أقل تقدير أن للعدو قابلية مماثلة مع ما لديها من قابليات . وعلىٰ المنطقة الزرقاء أن تخطط لنشر مصادرها الخاصة بالمراقبة المضادة بشكل ملائم في الجانب الآخر لمدىٰ وسائل

المراقبة للمنطقة الحمراء لتجنب حصول فجوة خطيرة . على سبيل المثال ستكون هناك نقطة واهنة في تمويه موضع قاذفة الصواريخ تجاه الرصد البصري إذا بقيت الشارة الحرارية للمعسكر بارزة .

إن الاستخدام السريع والواضح لوسائل المراقبة المضادة من قبل المنطقة الزرقاء يجب أن يؤخذ كنتيجة لخطة تعبوية مدروسة . مثل هذا الحدث سيقود المنطقة الحمراء لِتَوَقُّعِ بعض أشكال النشاط التعبوي الفوري . وهذا بالطبع ليس إلا مثالاً لفكرة عامة وهي أنه في الحرب لا يجب السماح لشكل منفرد من أشكال النشاط التعبوي بأن يؤخذ بنظر الاعتبار في عملية العزل .

والنظرة العامة الأخرىٰ ، هي الحاجة إلىٰ إرجاع كل تقنية المراقبة المضادة (CS) إلىٰ محيطها المباشر . وهذا واضح جداً عندما يؤخذ بنظر الاعتبار تأثير التمويه المنتظم للدغل إلىٰ منطقة مغطاة بالثلج .

وتقتسم المراقبة المضادة ، مع الحرب الإلكترونية عموماً ، الحاجة إلىٰ استجابة سريعة ومرنة للحالات غير المتوقعة المتولدة عن المنطقة الحمراء . إن إدخال معدات جديدة أو طرق جديدة أساسية لاستخدام المعدات الموجودة هي أمثلة على هذا الشيء .

وأخيراً لا يمكن المغالاة بالتأكيد على أهمية اجتياز التدريب المناسب والمعرفة الذاتية علىٰ جزء من قطعات المنطقة الزرقاء . وستكون معدات المراقبة المضادة الأكثر جودة غير فعالة بشكل كبير إذا لم تستخدم بشكل مناسب .

٢ ـ تقنيات المراقبة المضادة ـ منطقة الابصار :

إن أغلب تقنيات المراقبة المضادة (CS) في الجزء المرئي من الطيف هي أقدم من الحرب نفسها . وليس هناك مناقشة ملائمة للمراقبة المضادة بدون وجود نبذة قصيرة عن الطرق الرئيسية التي تم تطويرها عبر السنين . وتمثل هذه الطرق مدخلاً مهماً إلىٰ التقنيات المستخدمة في الأجزاء الأخرىٰ من النطاق

حيث أن تشكيل المراقبة المضادة المرئية لها ما يناظرها ؛ وفي حالات عديدة يكون النظير مضبوطاً . والتقنية المعطاة من ناحية ثانية ، قد لا تكون لها نفس الأهمية في الأجزاء المختلفة من نطاق المراقبة . فعلىٰ سبيل المثال يصبح التشويش من بعد (SOj) مؤثراً جداً في تعطيل رادار الموجة الدقيقة ولكنه أقل فعالية بكثير في الجزء المرئي من النطاق .

إن التقنيات المختلفة للمراقبة المضادة المرئية التي تتبناها المنطقة الزرقاء لإرباك (تشويش) أو تضليل وسائل المراقبة (SD) للمنطقة الحمراء ستتم مناقشتها الآن واحدة واحدة .

أ . تبني الانفتاح والحركة الجانبية المنخفضة :

وهذه التقنية ليست بأكثر من استثمار استخبارات البيئة وبالأخص استخدام الأرض من قبل قادة المنطقة الزرقاء . والفكرة الأساسية هي في استخدام الميزات الطبيعية لقطع خط النظر بين عناصر قوات المنطقة الزرقاء ونقاط الاستمكان المحتملة لوسائل المراقبة للمنطقة الحمراء . ويجب أخذ حقيقة أن الأجسام المتحركة تكون قابلة للكشف أكثر من الأجسام الساكنة وأن الحركة الاعتيادية أو الحركة ذات الدرجة العالية تكون أسهل في استمكانها من خلال الحركة غير النظامية .

والحقيقة العلمية المشهورة هي أن الأشكال النظامية في أي محيط تكون أسهل في تمييزها من الأشكال غير النظامية أو المقاطع الزمنية . وحالياً تم تأسيسها في الميدان العسكري رغم أن التأريخ غني بالأمثلة علىٰ خرق هذا المبدأ التعبوي البسيط . إن مهمة المراقبة المضادة في تجنب التبدل الواضح في صور الاستطلاع الضوئي المتتالي للمنطقة الحمراء هو مثال على المعضلة الخاصة بالمراقبة المضادة .

ب . استخدام التمويه :

هناك وجهان رئيسان لاستخدام التمويه من قبل المنطقة الزرقاء : الأول مهمته تغطية عناصر قواتها لتبديل خصائص انعكاساتها لتقليل فرصة كشفها من

قبل وسائل مراقبة المنطقة الحمراء . والثاني ابتكار طرق ومعدات لتقليل اختراق نشاط المنطقة الزرقاء على بيئتها للفت الانتباه لذلك النشاط . إن تصنيع « شبكات التمويه » الفعالة في مواقع مختلفة هي تقنية هندسية ذات مهارة عالية قابلة للتطور ، وخاصة عندما تبرز الحاجة إلى تمويه كل ترددات الطيف الكهرومغناطيسي .

ومن الصعوبة إخفاء أثر الضرر الحاصل للنبات والأرض بسبب حركة وحدات المنطقة الزرقاء ، وخاصة العجلات الثقيلة . والاتجاه المثمر هو في إخفاء حركة الوحدات العسكرية المهمة وجعل حركتها من ضمن التدفق الاعتيادي لحركة المرور الروتينية . وهذا بالطبع أكثر سهولة لتحقيقه على الطرق الصعبة وفي المناطق المكتظة بالمباني . والمثال الأكثر اهتماماً على وجه الخصوص لهذا النوع من المراقبة المضادة هو العرض المقدم من الولايات المتحدة لإخفاء صواريخ (MX) الجديدة في أي مكان بواسطة بيئة صناعية والتي لا تتبدل عند ظهور الصاروخ .

٢ ـ استخدام الحواجز والأهداف الكاذبة:

إن استخدام شبكات الدخان لتجنب الرصد البصري قد تمت ممارسته لعدة قرون . وفي شكلها الحديث فإن الانفتاح السريع للدخان بواسطة القاذفات يشكل جزءاً مهماً من أسلحة الدفاع عن النفس لقوات المنطقة الزرقاء لتجنب رصدها من قبل وسائل المراقبة للمنطقة الحمراء . ومع ذلك يجب التذكر بأنه رغم الفعالية العالية للدخان ضد الرصد البصري فإنه من الصعب تقنياً إنتاج حواجز الدخان الفعالة ضد منظومات الأشعة دون الحمراء البعيدة أو الوسائل ذات الطول الموجي الطويل . وهذا نتيجة الحاجة لاستخدام دقائق معلقة أكبر وأكبر كلما ازداد الطول الموجي المعني . مثل هذه الدقائق الكبيرة تتجه إلى النفاذ خلال الجو بسرعة لتجعل من إنتاج غيمة دخانية مستمرة شيئاً صعباً . ويزداد البحث الهام بواسطة أقطار مختلفة في هذه المعضلة بحيث يمكن أن يتبدل الموقف في السنوات القليلة المقبلة .

ويتضمن استخدام الأهداف الكاذبة من قبل المنطقة الزرقاء خدعة تعبوية اعتيادية وهي إحداث هجوم مظلل الذي يتطلب استخدام القـوات الاعتياديـة والمعدات لتعمل كأهداف كاذبة . من ناحية أخرىٰ يمكن استخدام المعدات الخاصة أيضاً وخاصة لتحقيق مراقبة مضادة موجبة ضـد الاستطلاع الصـوري للمنطقة الحمـراء . مثل هـذه الوسـائل قـد تتألف من أنمـاط قابلة للتضخيم للعجلات أو المعدات المراد تمثيلها . ويجب التذكر مـرة أخرىٰ أن الـوحدة الوهمية لهذا النوع قد تحتاج إلىٰ تجهيزها بمواصلات ذات إرسالات كاذبة إذا ما قامت قوة المنطقة الحمراء بإسناد متحسساتها الفوتوغرافيـة بإجـراءات الإسناد الألكتروني (ESM) . وقد تُجهز أيضاً بخصائص انبعاث حرارية معقولة . وكما مع كل المظاهر الأخرىٰ للأدوات العسكرية فإن التقنية الحديثة هي قبـل كل شيء أكثر كلفة بكثير .

٤ - التدمير الطبيعي لوسائل المراقبة :

لنفترض حقيقة أن المنطقة الزرقاء تعرف موقع وسائل المراقبة للمنطقة الحمراء ، إذن فاستخدام الأسلحة الاعتيادية لتدمير وسـائل المـراقبة هـذه أو الرجال الذين يشغلونها ، هو اختيار واضح لقوات المنطقة الزرقاء . وفي منطقة الإبصـار تكون وسيلة المـراقبة في أكثـر الحالات هي العين البشـرية مسنـدة بمعدات بصرية مختلفة . وفي أغلب الحالات تكون وسائل المراقبة البصرية للمنطقة الحمراء سلبية (أي لا يحتـاجون إلىٰ إضـاءة أهدافهم) وقـد يصبح موقعهم في حالة شك . وحيثما تتواجد المنشآت الكبيرة لوسائل المراقبة التابعة للمنطقة الحمراء ، تلجأ المنطقة الزرقاء إلىٰ جماعات الإغـارة لتخريب هـذه المنشآت المتواجدة في الموقع . في مثل هذه الحالة ، فإن استشـارة الخبرة والتدريب يجب إتاحتها لضمان إنزال التخريب الدائمي بصورة إقتصادية كلما أمكن ذلك ، وإنزال نفس التخـريب على المنشآت المشـابهة لإحبـاط عملية الإصلاح التي تجريها المنطقة الحمراء من طريق نقل أدوات أو أجزاء من آلة إلى أخرىٰ . وهناك اهتمام مالي في تطوير أسلحة مصممة بشكل خاص لتدمير وسائل المراقبة البصرية .

٥ ـ أسلحة التدمير الليزرية :

لقد كانت هناك مناقشات كثيرة حول أسلحة الليزر القادرة علىٰ إحداث التخريب على الصواريخ الاستراتيجية والأنواع الأخرىٰ من الأسلحة . وهـذه الأسلحة بسبب من طبيعتها ، معرضه إلىٰ تصنيف أمني مفهوم .

من ناحية ثانية ، يمكن بسهولة الاستنتاج من المعلومات المتاحة في أي مختبر فيزياوي أنه إذا كانت منظومة الأشعة دون الحمراء أو المرئية قادرة علىٰ الاشتغال بواسطة الطاقة المنعكسة أو المشعة من الهدف الموجود على مسافة (R) فإن الليزر ، الموجود في أو قرب ذلك الهدف والذي يعمـل على نفس الطول الموجي البصري ، سيكون قادراً علىٰ توجيه الطاقة بمثل هذا المستوىٰ لتدمير كاشف المنظومة فيما إذا كانت عيناً بشرية أو وسيلة شبه موصلة .

والمقصود من وسائل حماية منظومـة المراقبـة ، تقليل تـأثيرات أجهـزة التخريب الليزرية التي ستكون مطلوبة بشكل واضح في مواصفات أي وسيلة بصرية أو وسيلة الأشعة دون الحمراء المستخـدمة للمـراقبة . أن أداء أجهـزة التخريب الليزرية أو الوسائل المضادة للوسائل المضادة ستكون إلى حد بعيد أسراراً حذرة .

٦ ـ استخدام الوسائل النووية :

إذا كانت الحرب التي تشنها قوات المنطقة الزرقاء والمنـطقة الحمـراء تتضمن استخدام الأسلحة النووية فيجب الأخذ بنظر الاعتبار الوهن الذي يصيب وسيلة الاستـطلاع للمنطقـة الحمراء من جـراء الهجوم النـووي . والتأثيـرات الاعتيادية للانفجار ، وحرارة الوميض والإشعـاع ستؤثر علىٰ وسـائل المـراقبة للمنطقة الحمراء بالإضـافة إلىٰ تـأثيرهـا علىٰ أي معدات أخـرىٰ . بالإضـافة لذلك ، فمن المحتمل أن تحتوي وسائل المراقبة للمنطقة الحمراء علىٰ دوائر معـالجة الإشـارة الألكترونيـة والتي ستتأثـر على وجـه الخصـوص بمجـالات كهرومغناطيسية كبيرة أو تدفق الدقائق النووية الناتجة عن الانفجارات النووية من

قبل المنطقة الزرقاء ، أو في الواقع المنطقة الحمراء . إن تقوية المعدات الالكترونية تجاه هذا النوع من الهجوم يعتبر موضوعاً ذا أهمية كبيرة لا مجال لمتابعته هنا .

٧ - الحواجز المحمية ذات الانعكاس الرجعي والمصابيح الباهرة :

هناك الكثير من الأدلة التاريخية على أن الاستخدام التعبوي للشمس كوسيلة لبهر بصر العدو ، قد استخدمت لفترة طويلة . وهناك حسابات للجيوش التي استخدمت تروساً مصقولة بدرجة عالية لعكس صورة الشمس على وجوه قوات العدو المتقدمة . كما يجب الأخذ بنظر الاعتبار توسيع مثل هذه الأفكار من قبل المنطقة الزرقاء لإنتاج أضواء صناعية أو واقيات إنعكاس رجعي لتعكس ضوء الليزر . ومع ذلك فهناك القليل من المعلومات المنشورة حول الاستعمال الحالي لمثل هذه المنظومات التي يجب أن تؤخذ كحالة تأمل في الوقت الحاضر .

وحيثما تستخدم المنطقة الحمراء مكثفات الصورة فمن المحتمل أن تستخدم المنطقة الزرقاء مشاعل انبعاث ضوئية جبارة والتي قد تسبب حملاً زائداً لمثل هذه المنظومات وبالتالي تفشل في الاشتغال بشكل مناسب .

٨ - تقنيات المراقبة المضادة ضد مواصلات إجراءات الاسناد الالكتروني :

إن الاستخدام الواسع للاتصالات الكهرومغناطيسية من قبل كل الجيوش الحديثة أدىٰ إلىٰ جهود عظيمة وضعت في خدمة وسائل المراقبة وهي منظومة إستقبال إجراءات الاسناد الالكتروني الفعالة الموجهة ضد مرسلات المواصلات البعيدة . وبذلك تستخدم المنطقة الحمراء تسهيلات إجراءات الاسناد الإلكتروني، والتي إضافة إلى مراقبتها للرسائل المرسلة من قبل المنطقة الزرقاء ، مع الأمل في حل جفرتها والحصول على معناها الحقيقي ؛ فإنها تعين

شارة وموقع كل مرسلة بالإضافة إلى تمييز فحوى بعض الأشكال التعبوية . وتفترض المنطقة الزرقاء أن مثل هذا النشاط في حالة تقدم وقد تذهب إلى حد حقن معلومات كاذبة في منظومة المنطقة الحمراء . هذا الفعل والفعل المضاد هو جوهر مواصلات الحرب الالكترونية .

٩ ـ تقنيات المراقبة المضادة ضد رادار سطح ـ جو متوسط المستوى .

أ . المعضلة :

إن رادارات سطح ـ جو متوسطة المستوىٰ في محيط القوة البرية تكون عادة مصاحبة لمنظومات الأسلحة المضادة للطائرات . ونحن هنا لسنا بصدد المنظومات المضادة التي تعمل ضد منظومات الأسلحة نفسها ، ولكن فقط تلك الموجهة ضد عناصر المراقبة الخاصة بها . مثل هذه المنظومات المنفتحة حالياً تستخدم عادة الصواريخ بدلاً من المدافع وتُمثل بواسطة معدات « هوك » الأمريكية المحسنة أو وحدات (SA6) الروسية المتنقلة .

وبالنسبة لأهداف هذه المناقشة يجب أن تدرس استخدام المراقبة المضادة من قبل المنطقة الزرقاء لحماية طائراتها ضد الرصد من قبل الرادار المتوسط المضاد للطائرات الخاص بالمنطقة الحمراء والذي يتشابه من الناحية الوظيفية ـ ولكن ليس في أدائه الأفتراضي ـ مع رادار التحصيل النبضي « هوك » المُحسن أو الرادار الروسي ذي الوجه المسطح .

ومن الملائم عمل بعض الافتراضات حول أداء الرادار المتوسط المضاد للطائرات للمناطق الحمراء التي تمثل حضوراً في تقنية الخدمة . ويفترض بالرادار أن يكون له تردد تكرار نبضي (prf) منخفض ، وذو حزمة شعاعية منفردة مع أداء كشف جيد تجاه الطائرات الصغيرة التي تقع خارج المدىٰ (١٠٠) كم وعلى إرتفاع (٣٠) كم . وتعمل الحزمة على مسح الاتجاه بدورة كاملة في غضون (٨) ثوانٍ .

وتتاح دوائر مبين الأهداف المتحركة (MIT) للمشغلين بالإضافة إلىٰ وجود تسهيلات مضادة للتشويش محدودة تحت تصرفهم وغير معروفة تفصيلياً للمنطقة الزرقاء عند نشوب الأعمال الحربية . ويفترض إضافة لذلك ، الحصول على المعلومات من الرادار بواسطة المشغلين الذين يراقبون الأهداف على شاشة الرادار (PPI) . ويبلغ طول نبضة الرادار (٤) مايكروثانية لتعطي مدىٰ أولياً حوالي (٦٠٠) متر طولاً في كل المديات ، كما أن حزمةً بعرض (٤) درجات تعطي قدرة تفريق مقدارها (٧٠٠٠) متر في الاتجاه عند أقصىٰ مدىٰ (١٠٠ كم) . ولتجنب معضلات المدىٰ المبهم فإن تردد تكرار النبضة الرادارية يمكن جعلها (١٠٠٠) نبضة لكل ثانية أو أقل .

وعندما تواجه المنطقة الزرقاء عدداً من منظومات أسلحة سطح ـ جو خاصة بالمنطقة الحمراء المزودة بهذا الرادار ، فإنه عليها أن تتخذ عدة فعاليات للمراقبة المضادة . والتقنية الأولىٰ والأكثر وضوحاً هي لطائرة المنطقة الزرقاء ، للطيران بسرعة وبارتفاع منخفض ، وبذلك تمنع محاور النظر المكشوفة لرادار المنطقة الحمراء وإخفاء الإشارات المنعكسة للطائرة في الانعكاسات الأرضية . والتأثير الكلي لهذه التعبية ستكون بالطبع معتمدة على فعالية الدفاع الجوي في مستويات الطيران المنخفض للمنطقة الحمراء .

ب . تدمير الرادار المتوسط المضاد للطائرات . (MAR) :

تمكِّن الإرسالات القوية للرادار المتوسط المضاد للطائرات ، مستقبلات receivers إجراءات الإسناد الألكتروني (ESM) للمنطقة الزرقاء من استمكان موقعها ، كما أن دقة الاستمكان يمكن تعزيزها إذا كان ذلك ضرورياً باستعمال متحسسات إضافية . وستكون معدات إجراءات الإسناد الإلكتروني المحمولة جواً أكثر مرونة وفعالية ، ولكن قد تستخدم المعدات الأرضية أيضاً ، خاصة إذا توفرت أرض عالية تشرف علىٰ مواقع (MAR) . وستكون شارة (MAR) ذات خاصية عالية بحيث لا تكون هناك صعوبات كبيرة لمنشآت إجراءات الإسناد الإلكتروني للمنطقة الزرقاء في التعرف على مواقع (MAR) . وقد تتيح الظروف

في ساحة المعركة كثافة عالية جداً من نبضات الطاقة الكهرومغناطيسية بحيث تكون منظومات (ESM) الحديثة قادرة علىٰ التقاط ومعالجة مليون نبضة لكل ثانية .

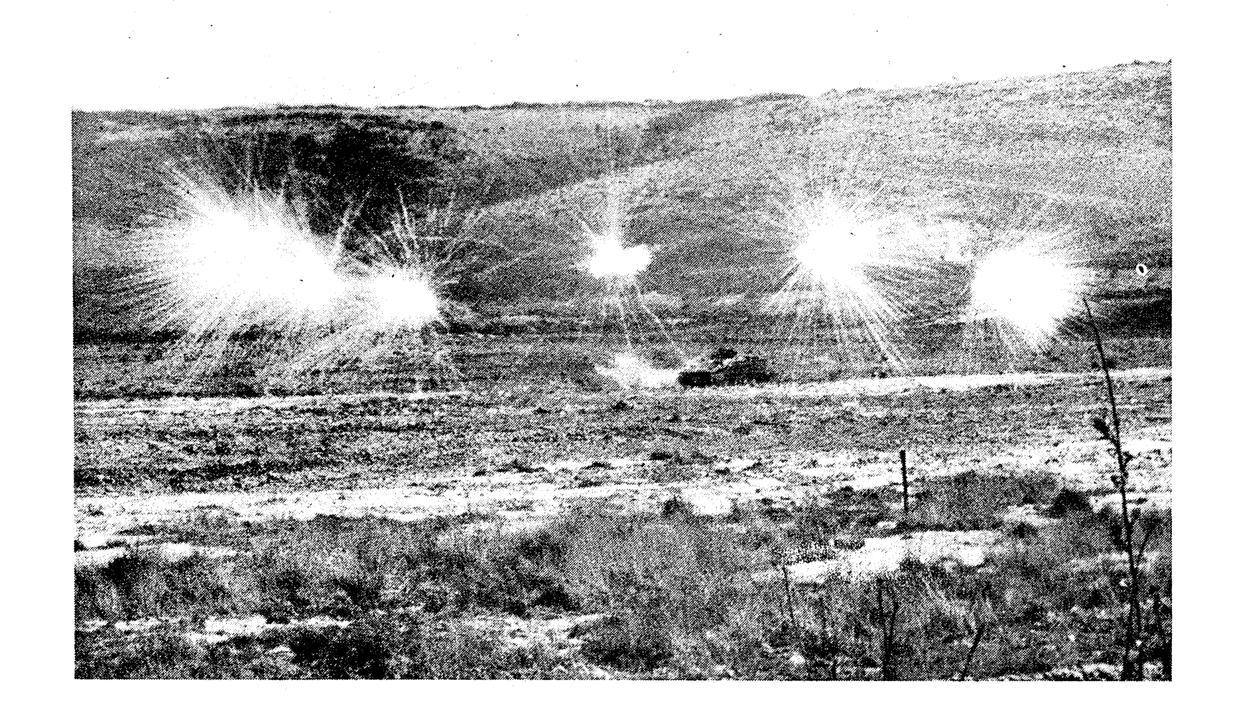
إن مهمة المنطقة الزرقاء لاستمكان مواقع (MAR) ستكون أكثر صعوبة إذا امتلك (MAR) أيـة تسهيلات أو تـردد تكرار نبضي متغيـر ، وطـول نبضي ملائم . وحالما يتم تنقيط موقع (MAR) للمنطقة الحمراء تتم مهاجمتها بواسطة أي سلاح من الأسلحة المـألوفـة بضمنها صـواريخ التـوجيه السلبي المضـادة للرادار التي إما أن تطلق من الجو أو من السطح .

جـ . التشويش السلبي والأهداف الكاذبة :

لقد تم استخدام التشويش السلبي منذ الأيام الأولىٰ للرادار . والطريقة المـألوفـة هي في نشـر غيـوم من الـرقـائق المعـدنيـة (chaff) وتعـرف أيضـاً بـ « النافذة » التي تتألف من شرائح رقيقة من الألمينيوم مُقطَّعة بطول معين لتوليد إنعكاس كبير في نبضات الرادار . وتستطيع المنطقة الزرقاء زرع غيوم الرقائق المعدنية من طائرة مستخدمة بشكل خاص لهذه المهمة أو باستعمال قذائف أو صواريخ الرقائق المعدنية .

وتدوم غيوم الرقائق المعدنية لفترات زمنية طويلة جداً حيث تسقط الشرائح المنفردة بشكل بطيء جداً . وتسير هذه الغيوم مع الهواء الذي يحملها ، ويمكن أن تسبب إرباكاً عاماً لعمليات المنطقة الحمراء . من ناحية ثانية فإن استعمال مبين الأهداف المتحركة من قبل المنطقة الحمراء سيقلل إلىٰ حد كبير من فعالية الرقائق المعدنية . ومن الواضح كذلك أن استعمال الرقائق المعدنية في هذا النوع من المشاغلة يتطلب تهيئة خطة مدروسة للمنطقة الزرقاء . وسوف لا تكون هناك قيمة لحماية الطائرة المعزولة تجاه الرصد من قبل (MAR) .

وتتضمن الأشكال الأخرىٰ من الأهداف الكاذبة إطلاق مركبات محمولة جواً مع رادار تعزيز خاص تستعمل في الغارات المخطط لهـا مسبقاً من قبـل



شكل (٨ ـ ١) عجلة مدرعة تطلق قذائف دخان

المنطقة الزرقاء ، ولكن من غير المحتمل استعمال مثل تلك الطريقة في الحرب التعبوية الروتينية أو جماعات الاستطلاع بواسطة طائرة منفردة .

د . تقليل المقطع الراداري ـ التقرب بالتسلل :

إذا أمكن افتراض التردد العامل لـ (MAR) للمنطقة الحمراء في وقت تطوير طائرة المنطقة الزرقاء ، فيمكن عمل الكثير لتقليل المقطع العرضي للرادار ـ أو مساحة الانعكاس الراداري (RCS) . وتعتمد قوة الإشارة المنعكسة الراجعة من هدف سلبي مثل الطائرة ؛ على شكلها ، والمادة المصنوعة منها ، وسماتها فيما يتعلق بحزمة الإضاءة للـ MAR . وفي الماضي كان التحكم في تصميم هيكل الطائرة ومحركاتها يتم بواسطة الديناميكا الهوائية وهكذا فإن تقليل (RCS) هي قضية تعديل الطائرة بواسطة التشكيل المصغر وتطبيق تغطية انعكاسية منخفضة للمناطق المختارة في المرحلة اللاحقة . من ناحية ثانية فإن

الأهمية الحيوية للـ (RCS) لبقاء الطائرة العسكرية هي الآن مقدرة بشكل تام وهكذا يُعطىٰ الاعتبار إلىٰ هذا المظهر التصميمي من البداية ، رغم أن هذا يعني نقصاناً في الأداء في بعض مظاهر الأداء الأخرىٰ .

إن تطوير مادة الامتصاص الراداري ، والصبغ المضاد للإنعكاس في حالة استمراره لعدة سنوات كما تقوم عدة شركات بتجهيزها . من ناحية ثانية هذا مثال آخر لمنطقة حيث يصعب الحصول على معلومات مفصلة . وهذا أيضاً صحيح للتقدم الحاصل في أداء المنظومات التي تبحث لإنقاص شارات الهدف بأخذ النبضة الرادارية من هوائي خاص وتضخيمها ، وعكس طورها وإرسالها إلى الخلف باتجاه الرادار بحيث تنحو النبضة المعاد إرسالها إلىٰ إلغاء النبضة المنعكسة من السطح الخارجي للهدف . وهذا النوع من المعدات ، التي يمكن اعتبارها كشكل من جهاز تشويش إيجابي ، قد يتم تعزيزه على حساب الحمولات الصافية الأخرىٰ .

وبالشهرة المعطاة في الولايات المتحدة إلىٰ فكرة «التسلسل» فإن نوع القاذفة الاستراتيجية تتجه إلىٰ تأكيد الأهمية المتعلقة بنقصان (RCS) للمركبات الاستراتيجية ، وفي واقع الحال المركبات التعبوية

هـ . استعمال أجهزة التشويش الفعالة لإحباط MAR :

هناك عدد من الأنواع المختلفة لجهاز التشويش الذي يوجه ضد (MAR) وهذه يجب تحديدها أولاً . والتشويش الأفضل والأكثر فعالية للمنطقة الزرقاء يعتمد في استعماله علىٰ عدد من العوامل التي تنتسب إلى الصراع الحقيقي قيد البحث . ويهتم التصنيف الأول بنوع المنطقة التي تحمل جهاز التشويش . وإذا حمل الهدف نفسه جهاز التشويش فيوصف بأنه المشوش الحامل للهدف (TBJ) أو مشوش محمي ذاتياً محمول جواً (ASPJ) . وإذا وفرت طائرة أخرىٰ للمنطقة الزرقاء ـ مكرسة للتشويش ـ إسناداً تشويشياً للهدف ، فإنه يدعىٰ جهاز تشويش من بُعْد (SOJ) وإذا كان بعيدا إلى حد ما من الـ MAR « الضحية » فإنه يحاول أن يختفي . وإذا كانت طائرة التشويش قريبة إلىٰ الهدف فإنها تدعىٰ المشوش

المرافق (EJ) بينما جهاز التشويش المساند الذي يطير قريباً من ضحيته فإنه يدعىٰ المشوش المشترك (SIJ) .

ولا يحتاج الـ (SIJ) قدرة تشويش عالية جداً لأنه يوجه قدرته إلىٰ هوائي رادار المنطقة الحمراء في مدىٰ قصير . وعليه من ناحية أخرىٰ اتخاذ طريق طيران متأخر في مجال الرؤية للرادار الضحية . ولذلك فإنها من المحتمل أن تكون RPV رخيصة وصغيرة وقد تزود برأس حربي صغير قادر على تدمير الرادار كإشارة للتوديع عندما يصبح وقودها عادماً

وطائرة التشويش المرافق ، والتي يجب أن تبقىٰ قريبة إلىٰ الطائرة التي يجب حمايتها ، من المحتمل أن تكون واحدة مع أداء مشابه للهدف . والـ (SOJ) من ناحية أخرىٰ يجب أن تبقىٰ في المحطة خلف طائرة الهدف لبعض الوقت ـ محتمل في طريق طيران يشبه شكل ميدان السباق ـ وهو تشويش من مديات بعيدة ولذلك يجب أن توفر قدرة تشويشية مهمة محتمل أن تُغذىٰ إلىٰ هوائيات كبيرة ذات حزمة ضيقة تماماً . مثل هذه الطائرة لا تحتاج أداءً عالياً ولكنها يجب أن تمتلك ثباتاً طويلاً وقابلية حمل الأثقال الكبيرة . وأي من المنصات التشويشية أعلاه قد تُسْتَعْمَلُ إما تشويشاً ضوضائياً أو تشويشاً خداعياً .

و . التشويش الضوضائي :

يتم الحصول على التشويش الضوضائي بواسطة تضمين المرسلة الضخمة ، التي تعمل على نفس التردد الذي يعمل عليه (MAR) للمنطقة الحمراء ، مع تراوح عشوائي للإشارة مشابه لذلك الذي تسببه الضوضاء العشوائية . وفي الرادارات الطوعية فإن هذا ينتج إنذارات كاذبة مستمرة بينما تبين رادارات العرض مبينات (PPI) أمريكية مغطاة ببقع متراوحة . وإذا زودت مشوشات المنطقة الزرقاء بأجهزة استقبال إجراءات الإسناد الإلكتروني فإن حاملات الضوضاء يمكن تنغيمها بدقة إلى التردد المضبوط للرادارات الضحية ولكن إذا كانت مشوشات « عمياء » فإن الموجة الحاملة لجهاز التشويش يجب

أن تزاح ذهاباً وإياباً على نطاق التردد المتوقع . مثل أجهزة التشويش المرتدة هذه تكون أقل فاعلية من نوع التردد النقطوي وإلى حد ما ، لهذا السبب فإن عدة رادارات حديثة يتبدل التردد الحامل بواسطتها في شكل عشوائي من نبضة إلى نبضة . وهذا يقلل الكفاءة حتىٰ لهذه المشبوشات المزودة بمستقبلات ESM للتنصت .

ز . تشويش الخدع (الأهداف الكاذبة) :

هناك عدة أنواع من مشوشات الخدع ، ولكنْ الرئيسية منها تتألف من منظومة تستقبل النبضة المرسلة للرادار الضحية مع مستقبل ESM مناسب ثم بعد ذلك تضخم النبضة وترسل بزمن تأخير اصطناعي ، وهذا يعطي مشغِّل المنطقة الحمراء هدفاً كاذباً على شاشته عند مدىً أو موقع يختلف عن الهدف الحقيقي . وفي بعض الحالات قد ترسل عدة ارتدادات كاذبة بواسطة جهاز التشويش الذي يملأ شاشة المنطقة الحمراء بالأهداف الكاذبة . مثل هذا المشوش يسمىٰ جهاز تشويش إصدائي .

حـ . الإستمكان التعبوي لأجهزة التشويش :

في أغلب الظروف تكون الصيغة الأكثر فعالية للتشويش ضد رادار (MAR)للمنطقة الحمراء ، عبارة عن ميدان من (SOJ) موضوعه من قبل قوات المنطقة الزرقاء خلف طائرة الهجوم حيث تكون محجوبة من الكشف . مثل هذا التشويش يجب تثبيته علىٰ الخط الممتد من موقع (MAR) خلال موقع طائرة الهجوم للمنطقة الزرقاء . مثل هذا الهجوم المُدبَّر بواسطة المنطقة الزرقاء يتطلب تخطيطاً مدروساً مع استطلاع مسبق لموقع رادارات المنطقة الحمراء والترددات الحاملة التي من المحتمل استعمالها .

١٠ ـ تقنيات المراقبة المضادة ضد رادار سطح ـ جو للمستويات المنخفضة :

إن رادارات سطح ـ جو المُعدة للكشف واستمكان طائرة الطيران المنخفض ؛ والتي يجب أن تدرس لتحوي كلاً من الصواريخ الجوالة والطائرة غير المأهولة الصغيرة ، عادة تترافق مباشرة مع منظومات الأسلحة المصممة لمهاجمة مثل هذه المركبات . وبارامترات رادارات المستويات المنخفضة (LLR) مختلفة جداً عن بارامترات (MAR) لأنها يجب أن تكون قادرة علىٰ العمل ضد الطائرات السريعة المنخفضة المستوىٰ التي قد لا يتم مسكها في المدىٰ القصير وتبقىٰ مرئية للرادار لبضعة ثوانٍ فقط . كما أن الرادار مُعرَّض أيضاً إلى انعكاسات أرضية واسعة . هذه الظروف تتطلب راداراً بتردُّد تكرار نبضي عالٍ ، بحيث يمكن تجنب سُرع التقرب العمياء ؛ وصيغة نبضة دوبلر لمعالجة الإشارة بحيث يمكن تحقيق أداء جيد في التشويش الثقيل ، وسرعة دوران عالية للهوائي الذي يوفر معدل بيانات عالٍ ، وإنذار طوعي لتجنب رد الفعل البطيء للإنسان والاجهاد الذي يصيبه . من ناحية أخرىٰ ، لا يكون مطلوباً الكشف للمدى الطويل ، وأقصى حد مطلوب هو (١٥) كم أو أقل . ولمواجهة وسائل المراقبة هذه فإن قوة المنطقة الزرقاء ستوفر معدات المراقبة المضادة التي تهدف إلىٰ حماية طائراتها التي تطير بمستويات منخفضة ، من هجوم منظومات الأسلحة الموجهة من رادارات الطيران المنخفض المستوىٰ (LLR) للمنطقة الحمراء . والشكل الهندسي لهذا النوع من الموقف لا يمكن أن يُسلم نفسه إلى أجهزة التشويش من بعد لأن محاور النظر ذات المدىٰ الطويل يحتمل عدم وجودها . من ناحية ثانية فإن الكشف الطوعي وبشكل أساسي الاستجابة السريعة للـ (LLR) يجعلها مكشوفة لإشباعها بالانذارات الكاذبة المتولدة من التشويش الضوضائي من المدى القصير . مثل هذا التشويش سينذر الرادار بأن الهجوم محتمل ، ولكن معدات الانذار الكاذب المتزايد سَيحُول دون الاستمكان الموثوق به لطائرة الهجوم . إن المنصات المتاحة للمنطقة الزرقاء والتي منها يتم توجيه التشويش النبضي ، تتضمن حاويةَ تشويش مركبة على

طائرة الهجوم ؛ أو طائرة مسيرة (RPV) تطلق إما من الأرض أو تطلق بشكل إسقاطي من طائرة المنطقة الزرقاء ؛ أو جهاز تشويش إفراغي ذي فترة زمنية قصيرة ، مُستلم من قبل قذيفة سطح ـ سطح أو صاروخ .

مثل هذا النشاط المعقد للمراقبة المضادة على جزء من المنطقة الزرقاء قد يبدو مكلفاً إلىٰ حد بعيد ، ولكن يجب التذكر بأن طائرة الهجوم الأرضي في الوقت الحاضر قد تكلف (٣٠) مليون دولار (عام ١٩٨١) . وتمديد عمرها من طريق خطط الحماية لكل هجمة تقوم بها يعتبر شيئاً جديراً بالاهتمام . وحيثما تنوي قوات المنطقة الزرقاء إلىٰ إعداد هجوم مكثف بعدد من طائراتها ، فإن الصواريخ المضادة للرادار التي توجَّه رادارياً على رادارات الطيران المنخفض للمناطق الحمراء قد تُطلق بواسطة الطائرات الرئيسية .

١١ ـ التطورات المستقبلية :

إن الكثير من ميدان المراقبة المضادة محاطة بالسرية ومن غير الممكن المناقشة بشكل مفتوح للتفاصيل الخاصة بالتقنيات المقترحة أو الحالية . مع ذلك ، ومن البديهيات الأُولِ حاول الإنسان إخفاء نفسه ومعداته أو خدع خصمه حول موقعه المضبوط . وهذا سيستمر ، ومن المتوقع أن لكل وسيلة مراقبة جديدة هناك تطور مضاد لها في الوقت نفسه .

مَسْرَد بالمصطلحات والمختصرات

ـ A ـ

مساحة الفتحة الفعالة للهوائي **A**

ناقلة أشخاص مدرعة **APC**

صواريخ مضادة للرادار **ARM**

(صواريخ موجهة مصممة للتوجيه ضد متحسسات العدو) .

مجال الرؤية الظاهر **Apparent Field of View**

هو التحديد المفروض بواسطة تصميم العدسة العينية للمجال الحقيقي للوضوحية البصرية الجيدة. ومجال الرؤية الظاهر لأي تلسكوب هو مجال الرؤية الحقيقي X التكبير .

منطقة النفوذ **Area of Influence**

جزء من منطقة معينة أو من منطقة العمليات أو منطقة جغرافية بحيث يكون القائد قادراً علىٰ التأثير المباشر علىٰ تقدم أو نتيجة العمليات بواسطة مناورة عناصره الأرضية أو برمي القوة الناريْة بمنظومات الأستار الناري الموجودة تحت سيطرته وقيادته .

منطقة التأثير **Area of Interest**

هي المنطقة التي تتضمن منطقة النفوذ والمناطق المجاورة لها وتمتد داخل منطقة العدو إلىٰ أهداف العمليات الجارية أو العمليات المقبلة كما تتضمن هذه المنطقة المحتلة من قبل قوات العدو الذي بإمكانه أن يعرض إنجاز الواجب للخطر .

السيطرة علىٰ الحركة الجوية **ATC**

النافذة الجوية **Atmospheric Window**

جزء من الطيف الكهرومغناطيسي الذي يصبح فيه الجو ناقلاً نسبياً .

منظومة السيطرة والإنذار المبكر المحمولة جواً (الأواكس) **AWACS**

ـ B ـ

عرض النطاق الترددي للمستقبلة **B**

فجوة النطاق **Band Gap**

الفرق في مستويات الطاقة بين نطاق التوصيل ونطاق التكافؤ .

موسع الحزمة **Beam Expander**

مجوعة من العناصر البصرية تعمل علىٰ زيادة قطر حزمة الليزر .

ناظور **Binoculor**

يتكون ببساطة من عدستين عينيتين ؛ آلة متكونة من منظومتين بصريتين متكاملتين متوازيتين ، واحدة لكل عين . مثل هذه الآلة يجب أن يكون لها تأثير مجسم مهم .

عدسة عينية **Bioculor**

في هذه المنظومة تنظر العينين خلال عدسة عينية واحدة أو عدستين عينيتين على الصورة المتشكلة بالمنظومة البصرية البسيطة ، من هنا فليس لها تأثير مجسم .

سُرع التقرب العمياء **Blind Approach Velocities**

عملية معالجة سطح العدسة أو الموشور لتقليل خسائر الانعكاس **Blooming or Coating**

واعتياداً يعكس الزجاج حوالي ٥٪ من الضوء الساقط عند كل سطح من الهواء ويمكن تقليل هذا إلى أقل من ٢ , ٠٪ بعملية تنوير خاصة أو حوالي ١٪ من التقنيات الأكثر من الاعتيادية .

_ C _

سرعة الأمواج الكرومغناطيسية (٣ × ١٠^٨ م/ثانية) **C**

جهاز قارن الشحنة **CCD**

Chaffor Window

شرائح معدنية تقطع بطول مساوي إلى الطول المرنان لموجة الـرادار ، لتوليد انعكاسات مشوشة .

مدفع القذيفة المطلقة الموجهة **CLGP**

حزمة مُسدَّدة **Collimated Beam**

حزمة متوازية من الضوء ذات تباعـد أو تقارب منخفض جـداً . ويمكن تسديد حزمة الليـزر بشكل أكثـر فاعليـة من حزم الضـوء الأخرىٰ لأنهـا مصدر متشاكِه .

(المسامتة) الاستيزاء **Collimation**

تطابق المحور البصري للتلسكوب بالنسبة إلى محوره الميكانيكي . وفي حـالة النـاظور يكـون تطابق محـوري البصر نسبـة إلى محـور خـلال مفصـل مركزي . ويبين خطأ الإستيزاء ، إذا كان كبيراً كصـورة مزدوجـة أو مع أخـطاء صغيرة ، كِلال البصر .

مسددة الاستيزاء **Collimation Sight**

وهي فكرة قديمة ، حيث توضع نقطة ضوء على نقطة البؤرة للعدسة في الصمام . ويحدث هذا حين ينظر شخص في العدسة بعين واحدة وتظهر النقطة بوضوح علىٰ مسافة كبيرة مركبة على المنظر كما يُرىٰ بالعين الأخرىٰ .

تلوريد الكادميوم الزئبقي **CMT**

دليل التحويل **Conversion Index**

كسب مكثف الصورة .

مرسمة الأشعة الكاثودية **CRO**

صمام الأشعة الكاثودية **CRT**

موجة مستمرة **CW**

ليزر الموجة المستمرة **CW Laser**

حيث يتم تعليق الإشعاع لفترات زمنية أكبر من (١ , ٠) ثانية .

ـ D ـ

قطر أو عرض الهوائي **D**

قياس قابلية الكشف للكاشف الفوتوني **D**

أسلحة التدمير الليزرية **Damage Laser Weapons**

هي الليزرات التي تكون لها قدرة خرج كثيفة وتكـون قادرة على تـدمير المعدات المضاءة بهذه الليزرات .

الكشف **Detection**

الإكتشاف بواسطة أي وسيلة عن وجود شخص ، جسم أو ظـاهرة ذات أهمية عسكرية .

حد الحيود **Diffraction Limit**

ويعين بدرجة التشـاكه التي يتم الحصـول عليها . وأصغـر نقطة تـركيز يمكن الحصول عليها عندما يشتق خرج الليزر كليةً من الشكل الأحادي الطور للتذبذب .

Drone

مركبة جوية تكون عادة غير مأهولة ومسيطر عليها من بُعد أو طوعياً .

Dunp Jammer

جهاز تشويش قابل للتوسع يتم إسقاطه من الطائرة أو قذفه من مـدفع أو هاون .

كفاءة التكامل **Ei**

الإجراءات الإلكترونية المضادة **ECM**

بؤبؤ الدو **Entrance Pupil**

عادة يكون عدسة شيئية لتلسكوب أو ناظور ولكن يمكن أن يكون صورة حقيقية لموقّف داخلي يتشكل بواسطة العدسة الشيئية . في هذه الحالة يمكن أن تقع أو تتركز في نفس طريق بؤبؤ الخروج . وبقياس قطر بؤبؤ الدخول وتقسيمه على قطر بؤبؤ الخروج يمكن الحصول على تكبير التلسكوب . وفي بعض الأحيان يوضع موقّف معدني أو فتحة مباشرة خلف العدسة الشيئية في التلسكوبات ذات الحيود الضعيفة ؛ وهذا يصبح بعد ذلك بؤبؤ الدخول .

Erector

عدسات أو مواشير لتعديل الصورة المقلوبة الاعتيادية المتشكلة بواسطة العدسة الشيئية .

Escort Jammer

جهاز تشويش يحمل مع الهدف المراد حمايته .

إجراءات الأستاذ الإلكتروني **ESM**

محطات استقبال راداري أو لاسلكي مصممة لتحليل واستمكان مرسلات العدو .

الحرب الألكترونية **EW**

هي الفعل والفعل المضاد لجانبين متضادين لاستثمار استخدام الوسائل الكهرومغناطيسية على حساب الجانب الآخر .

العدسة العينية **Eye piece**

هي العدسات التي بواسطتها يمكن رؤية الصورة الحقيقية المتشكلة بواسطة العدسة الشيئية .

خلوص العين **Eye Relief (eye clearance)**

هي المسافة من سطح العدسة الأخيرة إلى بؤبؤ الخروج ، حيث توضع العين لرؤية كل مجال الرؤية .

بؤبؤ الخروج **Exit Pupil**

صورة أصغر موقِّف زاوي كما يُرىٰ بالعدسة العينية .

— F —

تردد **f**

التردد الحامل f_C

تردد دوبلر f_D

معامل ضوضاء المستقبلة **F**

False Alarms

إشارات زائفة (كاذبة) تعطي ظهوراً كاذباً للهدف .

الحافة الأمامية لساحة المعركة **FEBA**

القفز الترددي **Frequency Agility**

تقنية تستخدم لإنتاج تردد موجة حاملة مختلفة لكل نبضة رادارية ، عادة بشكل عشوائي من نبضة لنبضة .

Field Stop

حلقة معدنية تكون عادةً في بؤرة العدسة العينية التي تكـون حافـة حادة لمجال الرؤية .

بؤرة ثابتة **Fixed Focus**

آلة تنظيم علىٰ بعد بؤري متوسط، مع خلوص عيني طويل بما فيه الكفاية لتمكن من إرتداء النظارات وتصحيح بصر المشاهد الحالة الإعتيادية .

الخط الأمامي لقطعاتنا **FLOT**

الموجة المستمرة المُضمَّنة بالتردد **FMCW**

ـ G ـ

كسب الهوائي **G**

ليزر غازي **Gas Laser**

في هذه الحالـة يظهـر فعل الليـزر بالحث (الإثـارة) ، والتأين وتصـادم الجزيئات في جزيئات الغاز .

Galilean

تلسكوب أو ناظـور يستخدم فقط عـدسة شيئيـة إعتياديـة وعدسـة عينية مقعرة . ورغم قِصَر هذا التلسكوب ، فإن له مجال رؤية محدود لتكبير معين .

مقياس العينية أو الشُبْكَة **Graticule or Reticule**

تسديد أو علامة مرجعية محفورة على سطح العدسة وتُـدَخل في مجـال الـرؤية وذلـك عن طريق وضعهـا على مستوىٰ الصـورة . ثم بعد ذلـك تُركب مقياس العينية / الشبكية علىٰ الصورة .

انعكاسات أرضية **Ground Clutter**

ـ H ـ

Half power Beam Width

هي الإزاحة الزاوية المستعملة لوصف عرض حزمة الرادار .

ـ I ـ

تمييز **Identification**

هي التمييـز بين الجسم ضمن نـوع أو صنف معين ، مثـل أنهـا دبـابـة T64الخ .

تمييز الصديق والعدو **IFF**

منظومة تستعمل الإرسالات الرادارية حيث تستجيب المعدات المحمولة

من القوات الصديقة طوعياً ، وبذلك تميِّز نفسها عن القوات المعادية .

Improved Hawk

سلاح موجَّهه سطح ـ جو متوسط المستوىٰ مُنفتح حالياً في حلف الناتو . وهو منظومة متنقلة .

IR **الأشعة دون (تحت) الحمراء**

IRLS **المسح الخطي للأشعة دون الحمراء**

IRR Paint **صبغ عاكس للأشعة دون الحمراء**

IWS **مسددة سلاح منفردة**

ـ K ـ

K **ثابت بولتزمان (١,٣٨ $^{-٢٣}$ جول/ كلفن)**

K **درجات كلفن**

ـ L ـ

L **عامل الفقدان**

Lambertian Surface **سطح لامبرت**

تعتبر السطوح الإنتشارية ، أي غير البرَّامة أو السطوح غير المرآوية ، سطوح لامبرت رغم أنها تكون نادرة في كل الزوايا . ولسطح لامبرت نصوع سطحي متساوي عند أي زاوية عند رؤيتها من الحالة الاعتيادية .

LED **دايود الإنبعاث الضوئي**

Lensatic

مع العدسات ، يشار إلىٰ تعديل الصورة بالعدسات أو أي شكل من أشكال المسددة التي تستعمل العدسات .

LEV **رؤية مُعززة بالليزر**

Light Transmission **إرسال ضوئي**

نسبة الضوء الساقط الذي يبزغ من العدسة العينية للآلة .

تلفزيون مستوىٰ الإضاءة المنخفضة **LLTV**

استمكان **Location**

يُستمكن الهدف عند تثبيت موقعه مع الدقة المطلوبة للمشاغلة .

رادارات المستوىٰ المنخفض **Low Level Rador's (LLR)**

هي الـرادارات المصممـة لكشف الـطائـرة التي تـطيـر علىٰ ارتفـاع منخفض

التردد المنخفض لتكرار النبضة

Low pulse Recurrence Frequency (Low p.r.f)

ويقصد به ، رادار ذو فترات زمنية طويلة بين نبضاته المرسلة بحيث من غير المحتمل أن يظهر غموضاً في قياس المدى

سلاح موجَّه مضاد للدبابة بعيد المدىٰ **LRATGW**

ـ M ـ

تكبير **Magnification**

الزيادة الخطية أو الزاويَّة الظاهرة في حجم الصورة .

دبابة القتال الرئيسية **MBT**

الرادار المتوسط المضاد للطائرات **Medium Anti-Air craft Rador (MAR)**

رادار افتراضي الذي نُوقش في هذا الكتاب ، ويشبه في وظيفته رادارات التحصيل لمنظومات الأسلحة الموجهة سطح ـ جو .

مبين الأهداف المتحركة **Moving Target Indication (MTI)**

تقنية لمعالجة الإشارة تقلل من الإرباك الحاصل وذلك بإزالة الأهـداف المتنقلة من مبين الرادار .

صاروخ أم أكس **MX Missile**

سلاح نووي ستراتيجي بعيد المدىٰ تحت التطوير في الولايات المتحدة الأمريكية .

_ N _

المقدرة الضوضائية **N**

المراقبة المضادة السلبية **Negative CS**

تهدف إلىٰ منع الخصم (المقابل) من الحصول على معلومات من وسائل مراقبته (SD) .

القدرة المكافئة للضوضاء **NEP**

وسيلة رصد ليلية **NOD**

Nominal oculor Hazard Distance

هي المسافة التي بعدها تهبط الطاقة في حزمة الليزر دون مستوىٰ الضرر للعين .

_ O _

عدسة شيئية **Object Glass**

عدسة تشكيل صورة حقيقية ، أو عدسة أمامية لتلسكوب اعتيادي أو ناظور ولكن توضح دون قمة الموشور في البيرسكوب .

Optically Pumped Laser

نوع من الليزر الذي يشتق طاقته من مصدر ضوء غير متشاكه ، مثل مصباح ومض زينون .

_ P _

القدرة المرسلة **P**

Photon Electron

إلكترون مُطلق من باعث فوتوني عند امتصاصه فوتون من الإشعاع

ثابت بلانك **Plank's Constant**

٤,١٤ × ١٠^-١٥ إلكترون فولت ثانية .

Plan Position Indicator (PPI)

شاشة الرادار تبين الأهداف المقاسة في اتجاهها ومداها المائل من موقع الرادار .

التوزيع العكسي **Population Inversion**

حالة ضرورية لعمل الليزر ، حيث يزيد التوزيع لمستويات الطاقة العالية عن التوزيع لمستويات الطاقة المنخفضة لتمييزها بالتضاد للحالة التي تظهر في الطبيعة .

موشور بورو **Porro Prism**

المراقبة المضادة الموجبة **Positive Cs**

تهدف إلىٰ حقن بيانات كاذبة في المتحسسات المقابلة (المعادية) .

موشور **Prism**

موشوري **Prismatic**

يعتبر عادة مرجعاً لآلة لها موشور لتعديل الصورة ، أي ناظور موشوري .

معيار الحماية **Protection Standard**

هو كثافة الطاقة (ليزر نبضي) أو كثافة القدرة (ليزر موجة مستمرة) التي فوقها تصبح خطرة على العين

ليزر نبضي **Pulsed Laser**

يعطي طاقته على شكل نبضة إحادية أو سلسلة من النبضات . وعندما تكون p.r.f. أكبر من (١) هيرتز يقال لليزر بأنه نبضي تكراري .

Pulse Length

زمن بقاء نبضة الرادار المرسلة ـ وتساوي بضعة مايكروثانية .

— Q —

Q-Switch

وسيلة لإنتاج نبضات كثيفة قصيرة . من هنا ليزر هذا النوع يطلق نبضات قصيرة ، ذات قدرة عالية .

— R —

مدىٰ **R**

المقطع العرضي لهدف الرادار **Rador Cross Section (RCS)**

المساحة الفعالة للإشارة المنعكسة لهدف الرادار وتقاس عادة بـ م٢ .

مقدرة مدىٰ **Ronge Finder**

آلة لتعيين المدىٰ .

مجال الرؤية الحقيقي **Real Field of View (FOV)**

زاوية الرؤية الحقيقية كما تُشاهد بالتلسكوب أو الناظور .

صورة حقيقية **Real Image**

الصورة التي يمكن تشكيلها على قطعة من ورق أو على مادة شفافة ، مثل الزجاج المُسنفر .

تعريف **Recognition**

عمليةتعيين ، بأي وسيلة ، رمز الصديق أو العدو أو الأجسام مثل الطائرات والسفن أو الدبابات ، مثل إنها دبابة / إنها شاحنة . كما أنها تشير إلى ظاهرة مثل كمواصلات ـ أو أية أشكال إلكترونية .

المسددة/ الكاميرا الإنعكاسية **Reflex Camera/Sight**

هي كاميرا حيث تعرض الصورة علىٰ شاشة تركيز البؤرة (قبل التصوير) عبر مرآة . وللمسددة الإنعكاسية مرآة تغطىٰ بالفضة بشكل خفيف لتعكس نقطة التهديف في مجال الرؤية .

منظومة مُتحسسات ساحة المعركة ذات مراقبة من بُعد **REMBASS**

مركبة مسيرة من بعد **Remotly Piloted Vechile (RPV)**

طائرة غير مأهولة يُسيطر عليها من بعد بواسطة طيار أرضي أو محمول جواً .

التجويف المرنان **Resonant Cavity**

هو الطوق البصري الذي ضمنه تنشأ الطاقة المتشاكهة ومنه ينتج الإنبعاث . ويكون الإنبعاث نبضياً أو موجة مستمرة اعتماداً علىٰ تصميم وطبيعة المنظومة .

متحسس أرضي من بعد **RGS**

مبين الإرتفاع والمدىٰ **RHI**

Roof Prism

موشور تعديل أكثر تعقيداً يستعمل حالياً في النواظير الحديثة . وهو أصغر وأكثر إحكاماً من موشور «بورو» ولكن له حافة على وجه واحد مثل سطح البيت الذي يتطلب دقة تصنيعية كبيرة .

سمتية مسيرة من بُعد **RPH**

ـ S ـ

قدرة الإشارة المستلمة **S**

SAG

سلاح موجَّه سطح ـ جو روسي يُقارن سلاح هوك المحُسَّن .

ليزر إشباه الموصلات **Semi Conductor Laser**

يظهر عمل الليزر عادة في دايود الإتصال . ويكون الخرج إما موجة مستمرة أو نبضياً ، ويكون منخفض نسبياً .

(وسائل مراقبة) متحسسات **SenSors**

المتحسسات أو الآلات تستعمل للحصول علىٰ معلومات المراقبة .

رادار البحث الجانبي المحمول جواً **SLAR**

ليزر الحالة الصلبة **Solid State Laser**

يظهر عمل الليزر في عدسة أو بلورة صلبة ، على سبيل المثال Nd: YAG . ويعتمد عمله على وجود مستويات الشوائب المسيطر عليها ، ضمن المادة الصلبة . ويستعمل كليزر نبضي ذو ضخ بصري .

منظومة تحصيل الهدف من بُعد **SOTAS**

التشويش من بُعد **Stond off Jamming (SOJ)**

استعمال تشويش الخدع المُسقط من منصة المثبَّتة خلف الهدف المرصود بوسائل المراقبة .

Stond In Jammer (SIJ)

جهاز تشويش موضوع أقرب بكثير إلى ضحيته من الهدف الذي يحميه .

القاذف المتسللة **Stealth Bomber**

طائرة قاذفة مصممة خصيصاً ليكون لها مقطع عرضي راداري قليل جداً .

حدة الإبصار المُجسَّمة **Steroscopic Acuity**

الرؤية ثلاثية الأبعاد للصورة المرئية بالعينين أفضل من الرؤية المسطحة المرئية بعين واحدة .

ـ T ـ

زمن الرصد **T_O**

زمن الإنقضاء **T**

درجة الحرارة المحيطة (٢٩٠ گلفن) **T_O**

Target Borne Jammer (TBJ) or (ASPJ)

جهاز تشويش يحمل من قبل الهدف المراد حمايته .

كبريتات الكلايسين الثلاثي TGS

جهاز تصوير حراري TI

مفتاح إرسال استلام T/R

ـ U ـ

سرعة الهدف U

ـ V ـ

التكبير المتغير أو البعد البؤري

Variable magnification or focal Length

مثل الزوم ولكن البؤرة يتم تعديلها كلما تبدل التكبير أو البعد البؤري .

Veiling Glare

ضوء منتشر عبر مجال الرؤية معطياً نقصاناً ظاهراً في تباين الصورة .

Vernier Acuity

قدرة العين علىٰ تراصف خطين عموديين واحد فوق الآخـر تحت مركـز أفقي .

الصورة التقديرية Virtual Image

صورة يمكن رؤيتها بالعين ولكن لا تتشكل كصورة حقيقية ، أي الصورة المرئية خلال تلسكوب أو مايكروسكوب (مجهر) .

حدة الإبصار Visual Acuity

قياس لقدرة التحليل للعين في ظروف الإختبار القياسية . وتؤخذ دقيقـة واحدة للقوس ولكن تتغير كثيراً مع مستوىٰ الضوء .

– Z –

منظومة التزويم **Zoom System**

منظومة بصرية التي يمكن فيها تغيير التكبير أو البعد البؤري ولكن مع بقاء البؤرة ثابتة .

زاوية	θ
الطول الموجي	λ
مساحة الإنعكاس الرداري	σ
زمن النبضة	$\hat{\imath}$
تمييز المدى	ΔR

فهرس الكتاب

الفصل الثالث:

الفصل الرابع:

الفصل الخامس:

الفصل السادس:

الفصل السابع:

الفصل الثامن:

يعتبر هذا الكتاب دليلاً حافلاً بالمعلومات والصور التوضيحية للأساليب والتقنيات العلمية المستخدمة في البصريات القياسية وتغميق الصور والتصوير الحراري والرادار وانظمة الليزر بغية القدرة على المراقبة وتحصيل الأهداف العسكرية وايجاد التقنيات الممكن استخدامها في المراقبة المنتظمة والمستمرة ليلاً ونهاراً وفي كافة الأجواء لساحة القتال ، وتوفير المعلومات في الوقت المناسب لإستخبارات المعركة وهي حاجة مستمرة في كل الظروف لا سيما وأن التطور العلمي الحاصل في مجال الإلكترونيات الصفرية قد خطا خطوات متقدمة في السنوات الأخيرة، لذا تبرز الحاجة الى قابلية فرضية شاملة لتحصيل الأهداف ومشاغلة الهدف بمواكبة التقنيات المتطورة وشرح كيفية استعمالها في ساحات القتال، ويحتوي الكتاب على مجموعة قيمة من الأجوبة على الأسئلة القائمة على الإختبار الذاتي مع بيان توضيحي بالمصطلحات العسكرية لفهم مواصفات الأداء وكيفية اتمام وتحصيل الهدف بالكشف والتعريف والتمييز والإستكمان مما يجعل الهدف سهل المنال إذ أن الحرب تتطلب معلومات مبكرة حول ترتيبات العدو وحشوده العسكرية لكي تسهل مقاومته والقضاء عليه

الدار العربية للموسوعات